



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
تهران - میدان خوارزمی

# مبانی برق

فنی و حرفه‌ای از رشته‌های الکترونیک - الکترو تکنیک‌ها



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# مبانی برق

رشته‌های الکترونیک - الکترونیک

زمینه‌ی صنعت

نسخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره‌ی درس ۲۰۷۱

۶۲۱	مبانی برق / مؤلفان: غلامرضا قهطری ... (ویرگران) - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های
۳۱	درسی ایران، ۱۳۸۲.
۲۱۲	۲۲۵ ص. ۱- مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای: شماره‌ی درس ۲۰۷۱)
۱۳۸۲	متون درسی رشته‌های الکترونیک - الکترونیک: زمینه‌ی صنعت.
	برنامه‌ریزی و نظارت، درس و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های
	درسی رشته‌های الکترونیک - الکترونیک: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های
	فنی و حرفه‌ای و گردآوری وزارت آموزش و پرورش.
	۱. ورق: قلبه - قهطری، غلامرضا. - تهران: وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و
	تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک - الکترونیک، ج. عنوان، د. فهرست.



## فهرست

سخنی با هنرآموزان محترم و هنرجویان عزیز

۲	فصل اول: الکتریسیته ساکن
۳۳	فصل دوم: آشنایی با روش‌های تولید الکتریسیته
۴۳	فصل سوم: الکتریسیته جاری
۵۲	فصل چهارم: مدار الکتریکی و اجزای آن
۵۸	فصل پنجم: هدایت و مقاومت الکتریکی
۸۰	فصل ششم: قانون اهم
۸۷	فصل هفتم: آثار جریان الکتریکی
۹۲	فصل هشتم: کار و توان الکتریکی

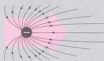
۱۰۳	فصل نهم: مفادیس و الکترومفادیس
۱۲۵	فصل دهم: اتصال سری مقاومت‌های اهمی
۱۴۵	فصل یازدهم: اتصال مقاومت‌ها به‌طور موازی
۱۶۶	فصل دوازدهم: اتصال پل‌ها
۱۷۲	فصل سیزدهم: جریان متناوب
۱۹۲	فصل چهاردهم: پوین (اسلف)
۲۱۳	فصل پانزدهم: خازن در جریان مستقیم
۲۳۵	فصل شانزدهم: خازن در جریان متناوب
۲۴۵	منابع و مآخذ

## سخنی با هنرآموزان محترم و هنرجویان عزیز

یکی از شاخص‌های پیشرفت صنعتی، تربیت نیروی انسانی متخصص در رده‌های مختلف فنی است. هر کشوری که بتواند هنرآموزان با رشد صنعتی و تکنیکی، نیروی فنی مورد نیاز خود را نیز تربیت کند، موفقیت پیش‌روی کسب خواهد کرد. هنرآموزان با اجرای نظام جدید آموزش متوسطه در زمینه‌ی صنعت، تغییرات و تحولات عمده‌ای در برنامه‌های درسی و آموزشی و نیز روش تألیف و ترمیم کتاب‌های درسی به‌وجود آمد. در مسیر تحلیف نخستین به اهداف برنامه‌های نظام جدید به صورت سالی - واحدی، طی برنامه‌ریزی انجام شده در کمیسیون‌های تخصصی رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک و با استفاده از نظریات نمایندگان گروه‌های آموزشی سراسر کشور در گردهمایی مرداد ماه ۱۳۹۹ در تهران، کتب میانی برق ۱ و ۲ مورد تجدید نظر قرار گرفت و پس از بازسازی با عنوان «میانی برق» وای ترمیم در مراکز آموزشی آماده شد. این کتاب در شانزده فصل تدوین شده است و تدوین کنندگان آن کوشیده‌اند تا محتوای کتاب با توانایی و درک هنرجویان کاملاً منطبق باشد. از آن‌جا که با وجود عده‌ی تلاشی‌ها هیچ اثری حالی از اشکال نیست، از شما همکاران عزیز تقاضا داریم ما را از پیشنهادهایی سازنده خود بهره‌مند سازید.

### هدف کلی درسی

درک اصول الکترونیک به منظور فراگیری موضوعات علمی و عملی برق.



## الکتریسیته‌ی ساکن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

- ۱- نظریه‌ی اتمی را در ارتباط با ماهیت الکتریسیته توضیح دهد.
- ۲- ذرات اصلی اتم و ذرات باردار الکتریکی را نام ببرد.
- ۳- قانون کولن را تعریف کند و فرمول آن را بنویسد.
- ۴- بار الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- ۵- روش‌های مختلف باردار کردن و تخلیه‌ی بار الکتریکی اجسام را شرح دهد.
- ۶- خطرهای الکتریسیته‌ی ساکن را شرح دهد و جلوگیری رفع هر یک را بیان کند.
- ۷- کاربردهای الکتریسیته‌ی ساکن را نام ببرد و ساختمان وسایلی را که با الکتریسیته‌ی ساکن کار می‌کنند، توضیح دهد.
- ۸- اختلاف پتانسیل و میدان الکتریکی را توضیح دهد و مقدار آن‌ها را محاسبه کند.
- ۹- تفاوت هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها را از نظر تعداد الکترون‌های آخرین لایه بیان کند و دلایل این تفاوت‌ها را توضیح دهد.
- ۱۰- اختلاف فلزانی چون نقره، طلا و مس را با توجه به جرم حجمی و هدایت الکتریکی آن‌ها بیان کند.

### مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیرممکن است. به علاوه، در بیش تر وسایل غلبه انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به این ترتیب می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً در همه جا به کار می‌رود.



شکل ۱-۱- کاربرد انرژی الکتریکی



باردار را جذب و اجسام باردار دیگر را دفع می‌کند، بنابراین، او چنین نتیجه گرفت که دو نوع الکتریسیته وجود دارد.

در اواسط دهه ۱۷۰۰، پنجاهمین فرانکلین این دو نوع را الکتریسیته‌های مثبت و منفی نام نهاد.

در زمان پنجاهمین فرانکلین دانشمندان معتقد بودند که الکتریسیته، سیالی است که می‌تواند بارهای مثبت و منفی داشته باشد ولی امروزه دانشمندان بر این عقیده‌اند که الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام الکترون و پروتون تولید می‌شود. این ذرات که بسیار ریزند و نمی‌توان آن‌ها را دید، در همه‌ی مواد وجود دارند. برای درک چگونگی وجود آن‌ها در مواد نخست باید ساختمان ماده را بشناسیم.

اگرچه الکتریسیته در فردن اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی‌ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آن‌هایی بودند که وقتی ماده‌ای به نام کهربا را به ماده‌ی دیگری مالش دهند، با نیروی مرموزی باردار می‌شود و می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را الکترون نام نهادند که کلمه‌ی الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است.

در حدود سال ۱۴۰۰ میلادی اجسامی را که مانند کهربا عمل می‌کردند، الکتریک و اجسام دیگر را طبر الکتریک می‌نامیدند.

در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دو فیه<sup>۱</sup> به این نکته پی برد که یک تکه شیشه‌ی باردار بعضی از اجسام



شکل ۲-۱- پگی از روش‌های تولید الکتریسیته



شکل ۳-۱- ذرات مهم اجسام در تولید الکتریسیته

## ۱-۱-۱-۱ ساختن ماده

تعریف ماده: هر چیزی را که بتوان دید، احساس کرد یا به کار برد، ماده گویند. در واقع، ماده هر چیزی است که حجم و فضا را اشغال می کند. ماده ممکن است به صورت جامد، مایع و گاز (شکل ۱-۱-۱) باشد. سنگ، چوب و فلز از مواد جامد، آب، الکل و بنزین از مواد مایع و اکسیژن و هیدروژن و اکسیژن کربن از مواد گازی هستند.

عناصر: اجزای اصلی تشکیل دهنده ی ماده اند. اکسیژن، هیدروژن، آلومینیم، مس، نقره، طلا و جیوه عناصرند. در واقع،

بیش از ۱۰۰ نوع عنصر شناخته شده وجود دارد. ۹۲ نوع از این عناصر به طور طبیعی وجود دارند و بقیه، ساخته ی دست انسان اند. در چند سال اخیر چند نوع عنصر تازه تولید شده است و گمان می رود انواع دیگری نیز قابل تولید باشند.

عناصر: همدی چیزهایی که در اطراف ما یافت می شوند، از عنصر تشکیل شده اند ولی همدی عناصر را نمی توان از راه تجزیه ی عناصر دیگر یا ترکیب ساده ی شیمیایی به دست آورد. در جدول عناصر طبیعی (جدول ۱-۱-۱) نام عناصر، حروف مشخصه و عدد اتمی آن ها را مشاهده می کنید.



شکل ۱-۱-۱-۱ حالت های ماده

مختصات ی آری

## جدول ۱-۱-۱-۱ جدول عناصر طبیعی و غیر طبیعی

جدول عناصر طبیعی					
نماد	اسم	عدد اتمی	نماد	اسم	عدد اتمی
H	Hydrogen	1	Li	Lithium	3
He	Helium	2	Be	Beryllium	4
B	Boron	5	B	Boron	5
C	Carbon	6	C	Carbon	6
N	Nitrogen	7	N	Nitrogen	7
O	Oxygen	8	O	Oxygen	8
F	Fluorine	9	F	Fluorine	9
Ne	Neon	10	Ne	Neon	10
Na	Sodium	11	Na	Sodium	11
Mg	Magnesium	12	Mg	Magnesium	12
Al	Aluminum	13	Al	Aluminum	13
Si	Silicon	14	Si	Silicon	14
P	Phosphorus	15	P	Phosphorus	15
S	Sulfur	16	S	Sulfur	16
Cl	Chlorine	17	Cl	Chlorine	17
Ar	Argon	18	Ar	Argon	18
K	Potassium	19	K	Potassium	19
Ca	Calcium	20	Ca	Calcium	20
Sc	Scandium	21	Sc	Scandium	21
Ti	Titanium	22	Ti	Titanium	22
V	Vanadium	23	V	Vanadium	23
Cr	Chromium	24	Cr	Chromium	24
Mn	Manganese	25	Mn	Manganese	25
Fe	Iron	26	Fe	Iron	26
Co	Cobalt	27	Co	Cobalt	27
Ni	Nickel	28	Ni	Nickel	28
Cu	Copper	29	Cu	Copper	29
Zn	Zinc	30	Zn	Zinc	30
Ga	Gallium	31	Ga	Gallium	31
Ge	Germanium	32	Ge	Germanium	32
As	Arsenic	33	As	Arsenic	33
Se	Selenium	34	Se	Selenium	34
Br	Bromine	35	Br	Bromine	35
Kr	Krypton	36	Kr	Krypton	36
Rb	Rubidium	37	Rb	Rubidium	37
Sr	Strontium	38	Sr	Strontium	38
Y	Yttrium	39	Y	Yttrium	39
Zr	Zirconium	40	Zr	Zirconium	40
Nb	Niobium	41	Nb	Niobium	41
Mo	Molybdenum	42	Mo	Molybdenum	42
Tc	Technetium	43	Tc	Technetium	43
Ru	Ruthenium	44	Ru	Ruthenium	44
Rh	Rhodium	45	Rh	Rhodium	45
Pd	Palladium	46	Pd	Palladium	46
Ag	Silver	47	Ag	Silver	47
Cd	Cadmium	48	Cd	Cadmium	48
In	Indium	49	In	Indium	49
Sn	Tin	50	Sn	Tin	50
Sb	Antimony	51	Sb	Antimony	51
Te	Tellurium	52	Te	Tellurium	52
I	Iodine	53	I	Iodine	53
Xe	Xenon	54	Xe	Xenon	54
Ba	Barium	56	Ba	Barium	56
La	Lanthanum	57	La	Lanthanum	57
Ce	Cerium	58	Ce	Cerium	58
Pr	Praseodymium	59	Pr	Praseodymium	59
Nd	Neodymium	60	Nd	Neodymium	60
Pm	Promethium	61	Pm	Promethium	61
Sm	Samarium	62	Sm	Samarium	62
Eu	Europium	63	Eu	Europium	63
Gd	Gadolinium	64	Gd	Gadolinium	64
Tb	Terbium	65	Tb	Terbium	65
Dy	Dysprosium	66	Dy	Dysprosium	66
Ho	Holmium	67	Ho	Holmium	67
Er	Erbium	68	Er	Erbium	68
Tm	Thulium	69	Tm	Thulium	69
Yb	Ytterbium	70	Yb	Ytterbium	70
Lu	Lutetium	71	Lu	Lutetium	71
Hf	Hafnium	72	Hf	Hafnium	72
Ta	Tantalum	73	Ta	Tantalum	73
W	Tungsten	74	W	Tungsten	74
Re	Rhenium	75	Re	Rhenium	75
Os	Osmium	76	Os	Osmium	76
Ir	Iridium	77	Ir	Iridium	77
Pt	Platinum	78	Pt	Platinum	78
Au	Gold	79	Au	Gold	79
Hg	Mercury	80	Hg	Mercury	80
Tl	Thallium	81	Tl	Thallium	81
Pb	Lead	82	Pb	Lead	82
Bi	Bismuth	83	Bi	Bismuth	83
Po	Polonium	84	Po	Polonium	84
At	Astatine	85	At	Astatine	85
Rn	Radon	86	Rn	Radon	86
Fr	Francium	87	Fr	Francium	87
Ra	Radium	88	Ra	Radium	88
Ac	Actinium	89	Ac	Actinium	89
Th	Thorium	90	Th	Thorium	90
Pa	Protactinium	91	Pa	Protactinium	91
U	Uranium	92	U	Uranium	92

## عناصر غیر طبیعی

نماد	اسم	عدد اتمی	نماد	اسم	عدد اتمی
La	Lanthanum	57	La	Lanthanum	57
Ce	Cerium	58	Ce	Cerium	58
Pr	Praseodymium	59	Pr	Praseodymium	59
Nd	Neodymium	60	Nd	Neodymium	60
Pm	Promethium	61	Pm	Promethium	61

۱-۱-۱ ترکیب: در واقع تعداد مواد از تعداد عناصر بسیار پیش‌تر است: زیرا عناصر با یکدیگر ترکیب می‌شوند و موادی را بوجود می‌آورند که از نظر خواص به هیچ‌وجه مشابه عناصر نیستند. برای مثال آب یک ترکیب است که از دو عنصر اکسیژن و هیدروژن بوجود آمده و نمک غذا ترکیبی از عناصر

سدیم و کلر است.

توجه داشته باشید که هیدروژن و اکسیژن اگرچه خود گازند ولی در اثر ترکیب، مایع آب ( $H_2O$ ) را تولید می‌کنند. در شکل ۵-۱ انواع ترکیبات حاصل از حالت‌های مختلف اجزاء، مایع و گاز را می‌بینید.



شکل ۵-۱-۱ حالت‌های مختلف ترکیبات (اجزاء، مایع، گاز)

می‌توانیم بگوییم که به یک مولکول نمک رسیده‌ایم. چنانچه آن را دوباره دو نیم کنیم، نمک به عناصر تشکیل‌دهنده‌اش تجزیه می‌شود. این اجزاء خواص نمک را نخواهند داشت (شکل ۵-۲).

۲-۱-۱ مولکول: کوچک‌ترین جزء ترکیب است که می‌توان آن را به اجزای کوچک‌تر تقسیم کرد؛ برای مثال اگر یک قطعه نمک خوراکی را مرتباً نصف کنیم، به‌طوری که تا حد ممکن کوچک شود، ولی هنوز خاصیت نمک را داشته باشد،



شکل ۵-۲-۱ شکسته شدن مولکول نمک

۱-۱-۳ اتم: کوچکترین جزء یک عنصر است که هنوز خواص آن عنصر را دارد. اگر یک قطره آب را به کوچکترین اجزایش خرد کنیم، یک مولکول آب به دست می‌آید ولی اگر

بخواص مولکول آب را باز هم به اجزای کوچکتری تقسیم کنیم، اتم‌های هیدروژن و اکسیژن ظاهر می‌شوند.

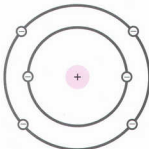


شکل ۱-۳-۱ شکستن مولکول آب

## ۱-۲-۱ ساختار اتم

اگر اتم یک عنصر به چند ذره‌ی کوچک‌تر شکسته شود، دیگر خواص آن عنصر در این ذرات وجود ندارد؛ زیرا این ذرات کوچک‌تر در اتم‌های عناصر مختلف وجود دارند. تفاوت اتم‌های عناصر مختلف با هم در این است که تعداد متفاوتی از این ذرات کوچک‌تر از اتم را دارند.

هر اتم از سه نوع ذره تشکیل می‌شود: الکترون، پروتون و نوترون. پروتون‌ها و نوترون‌ها در مرکز یا هسته‌ی اتم قرار گرفته‌اند و الکترون‌ها در اربیتال‌ها یا مدارهایی به دور هسته گردش می‌کنند. شکل ۱-۲-۸ ساختار اتم کربن را نشان می‌دهد. هسته‌ی اتم کربن از شش پروتون با بار مثبت و شش نوترون (اختلاف تشکیل شده است و شش الکترون با بار منفی به دور هسته می‌چرخند.

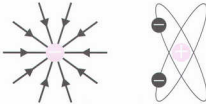


شکل ۱-۲-۸ ساختار اتم کربن



۱-۲ الکترون: همان‌طور که پیش از این نیز گفتیم، قطر الکترون سه برابر قطر پروتون و حدود  $9.1 \times 10^{-31}$  سانتی‌متر است. ولی جرم آن  $1840$  برابر از پروتون سبک‌تر است. الکترون‌ها را به آسانی می‌توان حرکت داد. آن‌ها ذراتی هستند که در انتقال انرژی الکتریکی اثر فعالی دارند.

الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته‌ی اتم حرکت می‌کنند و بارهای الکتریکی منفی دارند. خطوط نیروی وارد شده از هسته به صورت شعاعی و در تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند. به بارهای الکترون و پروتون، بارهای الکترواستاتیکی نیز می‌گویند.



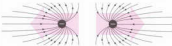
شکل ۱-۱۱- خطوط نیروی الکترون

### ۱-۳ اثر بارهای الکترواستاتیکی بر یکدیگر

بار منفی الکترون از نظر مقدار، مساوی ولی از نظر جهت خطوط نیرو، مخالف بار مثبت پروتون است. خطوط نیروی هر یک از ذرات میدان‌های الکترواستاتیکی تولید می‌کنند. به علت اثر متقابل این دو میدان، ذرات باردار یکدیگر را جذب یا دفع می‌کنند. بر اساس قانون بارهای الکتریکی، ذراتی که بارهای همتا دارند، یکدیگر را دفع و ذراتی که بارهای مخالف دارند، هم‌دیگر را جذب می‌کنند.

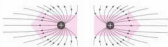
طبق شکل ۱-۱۲ پروتون (+)، الکترون (-) را جذب می‌کند.

طبق شکل ۱-۱۳ الکترون (-)، الکترون (-) دیگر را دفع می‌کند.

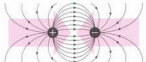


شکل ۱-۱۳- نیروی دفعی بین دو الکترون

طبق شکل ۱-۱۴ پروتون (+)، پروتون (+) دیگر را دفع می‌کند.

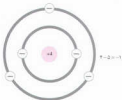


شکل ۱-۱۴- نیروی دفعی بین دو پروتون



شکل ۱-۱۵- نیروی جاذبه‌ی بین الکترون و پروتون

طبق شکل ۱-۱۷ چنانچه تعداد الکترون‌های منفی از پروتون‌های آن پیش‌تر باشد، اتم بار منفی دارد و یون منفی ایجاد می‌کند.



شکل ۱-۱۷- یک یون منفی

#### ۱-۵- باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم شتا الکترون‌های خود را از دست بدهند یا الکترون زیادی بگیرند، آن جسم باردار خواهد شد. باردار شدن اجسام از چند راه امکان‌پذیر است: ۱- اصطکاک (مالش)، ۲- تماس (هدایت)، ۳- القا.

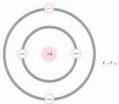
۱- باردار شدن اجسام از راه اصطکاک (مالش):

طبق شکل ۱-۱۸، اگر یک میله‌ی نئونه‌ای را به یک تکه ابریشم مالش دهیم، میله‌ی نئونه‌ای به ابریشم الکترون خواهد داد و در نتیجه، میله به‌طور مثبت و ابریشم به‌طور منفی باردار خواهند شد. اگر یک میله‌ی کتان‌چوبی را به یک تکه ابریشم مالش دهیم، میله‌ی کتان‌چوبی از پارچه‌ی پشمی الکترون می‌گیرد در نتیجه، کتان‌چوب به‌طور منفی و پارچه‌ی پشمی به‌طور مثبت باردار می‌شود. به این روش، باردار کردن از طریق اصطکاک (مالش) می‌گویند. ۲- باردار کردن اجسام از طریق تماس: با استفاده از یک میله‌ی کتان‌چوبی باردار می‌توان جسم دیگری مانند مس را فقط با تماس دادن این دو با یکدیگر باردار کرد. بدین ترتیب که بار منفی میله‌ی کتان‌چوبی سعی دارد که الکترون‌های سطح میله‌ی مس شتا را دفع کند. الکترون‌های سطح میله‌ی کتان‌چوبی به سطح میله‌ی مس وارد می‌شوند و به آن بار منفی می‌دهند.

پروتون‌ها مثبت هستند و باید یکدیگر را دفع کنند اما نوعی نیروی جاذبه درون هسته‌ی اتم وجود دارد که آن‌ها را در کنار هم نگه می‌دارد. این نیرو از نیروی دافعه‌ی پروتون‌ها قوی‌تر است و مانع از هم پاشیدن هسته‌ی اتم می‌شود.

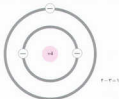
#### ۱-۴- اتم‌های باردار

طبق شکل ۱-۱۵ به‌طور طبیعی در هر اتم تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها مساوی است. بنابراین، بارهای مساوی و مخالف مثبت و منفی یکدیگر را خنثا می‌کنند و اتم را از نظر الکتریکی خنثا نگه می‌دارند. البته همان‌طور که قبلاً نیز گفتیم، تعداد پروتون‌های داخل هسته‌ی یک اتم تغییر نمی‌کند و در واقع، خصوصیات اتم وابسته به تعداد پروتون‌ها است اما تعداد الکترون‌ها ممکن است تغییر کند.



شکل ۱-۱۵- اتم خنثی

طبق شکل ۱-۱۶ اگر در اتمی تعداد الکترون‌ها از پروتون‌ها کم‌تر باشد، اتم بار مثبت دارد و یون مثبت ایجاد می‌کند.



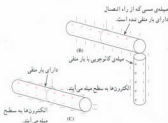
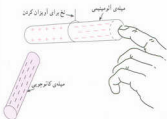
شکل ۱-۱۶- یک یون مثبت

باردار می‌گردد. به این روش، باردار کردن از طریق برخورد یا تماس می‌گویند.

۳- باردار کردن از طریق القا، چون الکترون‌ها و پروتون‌ها نیروی جاذبه و دافعه دارند، جسم را بدون تماس دادن با جسم باردار می‌توان باردار کرد. طبق شکل ۱۹-۲ اگر یک میله‌ی کاتوجویی باردار منفی را به یک میله‌ی آلومینیومی خنثی نزدیک کنیم، نیروی منفی میله‌ی کاتوجویی الکترون‌های میله‌ی آلومینیومی را دفع می‌کند و به سر دیگرش می‌راند. در نتیجه، یک سر میله‌ی آلومینیومی منفی و سر دیگر آن مثبت می‌شود. حال اگر میله‌ی کاتوجویی را کنار بکشیم، الکترون‌های میله‌ی آلومینیومی دوباره تغییر آرایش می‌دهند تا میله به حالت خنثی درآید.



شکل ۱۹-۲ باردار کردن اجسام به روش القای الکتریکی



شکل ۲۰-۱ باردار شدن اجسام از طریق القا

حال اگر بخواهیم میله‌ی آلومینیومی باردار باقی بماند، دوباره میله‌ی کاتوجویی را به آن نزدیک کرده و انتهای منفی میله را با انگشت لمس می‌کنیم. الکترون‌ها از طریق بدن، میله‌ی آلومینیومی را ترک می‌کنند. در این جا بارهای خنثی کم مورد نظرند. در نتیجه، عبور آن‌ها از بدن نا محسوس است. اگر قبل از کنار کشیدن میله‌ی کاتوجویی انگشتان را کنار بکشیم، میله‌ی آلومینیومی باردار باقی خواهد ماند. به این روش، باردار کردن از طریق القا می‌گویند.

شکل ۱۹-۲ باردار شدن اجسام از طریق تماس

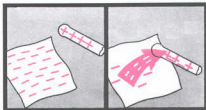
اگر از یک میله‌ی شیشه‌ای با بار مثبت به جای میله‌ی کاتوجویی که بار منفی دارد، استفاده شود الکترون‌ها از سطح میله‌ی مسی جذب میله‌ی شیشه‌ای می‌شوند و آن را به طور مثبت



## ۶-۱-۱ خنثا کردن یک بار

الکترон‌ها را دوباره از ابرشم بیرون می‌کشند تا هر دو جسم از نظر الکتریکی خنثا شوند. برای تخلیه اجسام باردار می‌توان آن‌ها را با سم به هم متصل کرد.

پس از این که نبشته و ابرشم را به هم مالش دادید، آن‌ها دارای بار الکتریکی خواهند شد ولی اگر میله‌ی شیشه‌ای و ابرشم را دوباره به هم نزدیک کنید، چانه‌ی بون‌های مثبت داخل میله،



شکل ۱-۱-۱-۱ خنثا کردن بار

زمین متصل می‌گردد. هنگامی که یک توده ابر بار الکتریکی ملاً منفی از بالای برق‌گیر می‌گذرد، در بالای آن الکتریسته‌ی مثبت و در پایین آن الکتریسته‌ی منفی القا می‌شود. الکتریسته‌ی منفی (یعنی الکترون‌ها) به زمین انتقال می‌یابد و الکتریسته‌ی مثبت با مقداری از الکتریسته‌ی منفی ابر خنثا می‌شود. در نتیجه، از شدت تراکم بار الکتریکی در ابر کاسته می‌شود و احتمال تخلیه‌ی الکتریکی به صورت صاعقه بین ابر و برق‌گیر کاهش می‌یابد.

## ۲-۱-۲ خطرات الکتریسته‌ی ساکن و جلوگیری خنثا کردن آن

برقی که بین دو توده ابر باردار (از نوع مخالف) با یک توده ابر و زمین می‌جهد، در اصطلاح علمی تخلیه‌ی الکتریکی نامیده می‌شود. این تخلیه‌ی الکتریکی (صاعقه) ممکن است به ساختمان‌های بلند آسیب برساند. در این مورد برای جلوگیری از آسیب، برق‌گیر به کار می‌رود. برق‌گیر میله‌ی آهنی نوک‌تیز بلندی است که در بالای ساختمان نصب می‌شود و قسمت انتهایی آن به



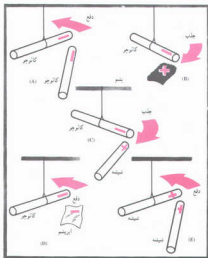
شکل ۱-۲-۲-۱ صاعقه و برق‌گیر

بار (انتقال قدرتها از تسبی لایستی استفاده می‌شود، برای زمین بودن الکتریسیته ساکن تولید شده، معمولاً پدیده دستگاه‌ها را به زمین وصل می‌کنند.

## ۸-۱ اثر اجسام باردار بر یکدیگر

اگر یک میله شیشه‌ای را با مالش دادن به ابریشم به‌طور مثبت باردار کنیم و به یک میله کتان‌چوبی از راه مالش دادن آن به پشم بار منفی دهیم - بدون این که آن‌ها با هم تماس پیدا کنند - خواهیم دید که اجسام با بارهای همدام یک‌دیگر را دفع و با بارهای غیر همدام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

در بیمارستان‌ها برای بی‌هوش کردن بیمار از آن ماده‌ای به نام اتر استفاده می‌شود. اثر ماده‌ای فرار است و بخار آن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر جریخ‌های تخت‌های بیمار لایستی باشند، بر اثر مالش این جریخ‌ها با پلو یا روکتی بیمار ممکن است آن‌ها الکتریسیته ساکن تولید شود و جرقه بزند. همین جرقه باعث انفجار خواهد شد. امروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی زنجیر فلزی کوتاهی به بدنه فلزی تخت حامل بیمار آویزان می‌کنند که با سطح زمین تماس دارد. بارهای الکتریکی تولید شده از راه این زنجیر به زمین منتقل می‌گردد و در نتیجه از تولید جرقه و بروز پشامد ناگوار جلوگیری می‌شود. در بعضی از دستگاه‌های صنعتی برای به‌حرکت درآوردن



شکل ۲۳-۱ اثر اجسام باردار بر یکدیگر

## ۱-۹ اجسام رسانا و نارسانا

در بعضی اجسام، بار الکتریکی به آسانی جابه‌جا می‌شود. این اجسام را رسانا یا هادی می‌گویند. در بعضی اجسام بارهای الکتریکی نمی‌توانند جابه‌جا شوند یا به سختی جابه‌جا می‌شوند. این گونه اجسام را نارسانا یا عایق می‌نامند. در میان اجسام جامد، هادی فلزات و کرین رساناهای خوبی هستند. به همین جهت، در صنعت از آن‌ها برای انتقال الکتریسیته استفاده می‌شود. بعضی از مایعات نیز رساناهای خوبی هستند ولی هادی گازها از جمله هوا - هنگامی که کاملاً خشک باشند - نارسانا هستند. کهربا، شیشه، چینی، لاستیک، میکا، اینشتیم، ایونیم، چوب‌پنبه، مواد پلاستیکی و گوگرد از نارساناهای خوب به‌شمار می‌روند. نخستین کسی که الکتریسیته‌ی ساکن را به‌طور علمی مورد مطالعه قرار داد، ویلیام گیلبرت بود. او در کتاب خود به‌نام «مagnet و فهرست مفصلی از اجسام رسانا و نارسانا را آورده است. گیلبرت مواد نارسانا را که در اثر حالتی، الکتریسیته‌دار می‌شوند اجسام الکتریکی و ماده رسانا را که در اثر مالش در آن‌ها الکتریسیته ظاهر نمی‌شود، اجسام غیر الکتریکی نام نهاد.

دویست سال پس از انتشار کتاب گیلبرت، جریان الکتریسیته کشف شد. آن زمان دانشمندان متوجه شدند که الکتریسیته از اجسامی که گیلبرت آن‌ها را اجسام الکتریکی نامیده بود، نمی‌گذرد و برخلاف اجسام غیر الکتریکی الکتریسیته را به‌آسانی از خود عبور می‌دهند.

گیلبرت اهمیت خشک بودن اسباب‌ها را در آزمایش‌های الکتریسیته‌ی ساکن یادآور شده بود: «حالت ناخالص ماده‌ای رساناست. لایه‌ی نازکی از رطوبت که در اثر تراکم بخار آب موجود در هوا یا رطوبت دست بر اجسام نارسانا می‌نشیند، الکتریسیته‌ی حاصل را به زمین انتقال می‌دهد. بنابراین، برای موفقیت آزمایش‌های الکتریسیته‌ی ساکن، اسباب‌های آزمایش باید کاملاً خشک باشند».

## ۱-۱۰ برق شما یا الکتروسکوپ

برق شما یا الکتروسکوپ ابزاری است که برای بی‌بردن به وجود بارهای الکتریکی کم و تعیین نوع بار الکتریکی به‌کار می‌رود.

در شکل ۱-۲۲ نوع متداول الکتروسکوپ را می‌بینید. این اسباب شامل یک میله فلزی (مثلاً برنجی) است که کلاهکی به شکل قرص یا گلوله به انتهای بالای آن نصب شده است. در انتهای پایینی آن یک صفحه‌ی فلزی مستطیل شکل کوچک با یک ورقه‌ی بسیار نازک طلا یا آلومینیم وصل شده است (در بعضی از الکتروسکوپ‌ها به‌جای صفحه‌ی مستطیل شکل کوچک فلزی، یک ورقه‌ی جلای دیگر نصب شده است).

ورقه‌ی طلا یا آلومینیم به این جهت به‌کار می‌رود که می‌توان از آن‌ها ورقه‌های بسیار نازک تهیه کرد. ورقه‌ی نازک طلا در یک محفظه‌ی فلزی که بتدریج پهن‌شده‌ی دارد، قرار می‌گیرد تا از جریان هوا و بارهای الکتریکی احتمالی موجود در آن محافظت شود. هنگام کار با الکتروسکوپ به‌دلی فلزی محفظه به زمین متصل می‌شود. میله برنجی را از سوراخ یک قطعه ماده‌ی عایق مانند پلی‌تن - که مثل چوب بله است - می‌گذرانند و آن را مطابق شکل در محفظه نگاه می‌دارند.



شکل ۱-۲۲-۱ ساختار برق شما

تشخیص وجود بار الکتریکی توسط برق شما، برای بی‌بردن به وجود الکتریسیته در جسم، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنند یا با آن تماس می‌دهند. الکتریسیته از راه میله الکتروسکوپ به ورقه‌ی طلا و صفحه‌ی فلزی مقابل آن منتقل می‌شود. چون صفحه و ورقه هر دو یک نوع بار الکتریکی پیدا می‌کنند، ورقه از صفحه دور می‌شود و با آن زاویه‌ای می‌سازد که هرچه اندازه‌ی بار الکتریکی بیش‌تر باشد، این زاویه بزرگ‌تر است. آیا می‌توان این زاویه معرف مقدار الکتریسیته‌ی داده شده به الکتروسکوپ باشد؟ به‌طور شما چگونه می‌توان نوع بار را توسط الکتروسکوپ تعیین کرد؟

است، نشان داد. هرگاه میله را به این الکتروسکوپ نزدیک کنیم، انحراف ورقه‌ای طلا بیش‌تر می‌شود.

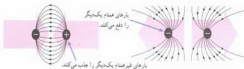
## ۱۱-۱ میدان‌های الکترواستاتیکی

نیروهای جاذبه و دافعه‌ی دو جسم باردار از طریق خطوط نیروی الکترواستاتیکی که در اطراف جسم باردار وجود دارند، اعمال می‌شوند.

در یک جسم باردار منفی، خطوط نیروی الکترون‌های اضافی با یکدیگر جمع می‌شوند و میدان الکترواستاتیکی به وجود می‌آورند که جهت خطوط نیروی آن در تمام جهات از بیرون به طرف درون جسم است.

در جسم باردار مثبت، کمبود الکترون‌ها باعث می‌شود که خطوط نیروی پروتون‌های اضافی با هم جمع شوند و میدان الکترواستاتیکی تولید کنند که در آن خطوط نیرو در تمام جهات از درون جسم به طرف بیرون است.

میدان‌های الکترواستاتیکی در هنگام جذب به طرف یکدیگر متقابل می‌شوند و در هنگام دفع با هم مخالفت می‌کنند.



شکل ۲۵-۱-۱ میدان‌های الکترواستاتیکی

از بارها گشته شود یا دو جسم از یکدیگر دور شوند، نیروهای جاذبه و دافعه ضعیف‌تر خواهند شد. در قرن هجدهم یک دانشمند فرانسوی به نام کولن با بارهای الکترواستاتیکی آزمایش‌هایی انجام داد و قانونی در مورد جاذبه و دافعه‌ی الکترواستاتیکی کشف کرد که به آن قانون کولن می‌گویند.

الکترون‌ها در اجسام نارسانا و رسانا و تشخیص آن‌ها به وسیله‌ی برق‌نما؛ تفاوت جسم نارسانا و رسانا این است که در جسم نارسانا الکترون‌ها به نسبت به آن‌های خود وابسته‌اند و به آسانی جابه‌جا نمی‌شوند اما در جسم رسانا، الکترون‌ها می‌توانند به راحتی از آنی به آنی دیگر بروند. وقتی یک میله‌ی کاتوجویی را با دست می‌گیریم و آن را با پوست حیوان مالش می‌دهیم، الکترون‌ها در سطح میله جمع می‌شوند و چون کاتوجو نارساناست، این الکترون‌ها نمی‌توانند در میله حرکت کنند و از راه دست به زمین منتقل شوند. در نتیجه، بار الکتریکی در روی میله باقی می‌ماند. اگر یک میله‌ی برنجی را با دست بگیریم و آن را با پوست حیوان مالش دهیم، دست مانند میله‌ی کاتوجویی با جذب الکترون‌های اضافی، بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند ولی بار الکتریکی در آن آشکار نمی‌شود؛ زیرا الکترون‌های اضافی از راه میله و دست و بدن که رسانا هستند به زمین می‌روند. اگر میله‌ی برنجی را با دستی نارسانایی بگیریم، الکترون‌های اضافی میله نمی‌توانند از این دسته‌ی نارسانا بگذرند و در میله باقی می‌مانند. وجود بار اضافی منفی را در میله‌ی برنجی می‌توان با یک الکتروسکوپ که از پیش با الکتروسیته‌ی منفی باردار شده

نیروی جذب و دفع به دو عامل بستگی دارد: (۱) مقدار باری که در هر جسم وجود دارد و (۲) فاصله‌ی بین دو جسم. هرچه بارهای الکتریکی اجسام بیش‌تر باشد، نیروی الکترواستاتیکی بزرگ‌تر خواهد بود و هرچه دو جسم باردار به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، نیروی الکترواستاتیکی بین آن‌ها بیش‌تر خواهد بود. اگر

## ۱-۱۲ قانون کولن

کولن آزمایش‌های خود را در دو مرحله انجام داد: در مرحله‌ی نخست به دو گری ساکن و متحرک بارهای الکتریکی یکسان (مساری و هم‌نام) داد و نیروی دافعه‌ی بین آن‌ها را در فاصله‌های مختلف اندازه‌گیری کرد. او نتیجه گرفت که این نیرو با عکس مجذور فاصله‌ی دو بار الکتریکی متناسب است؛ یعنی، وقتی که فاصله‌ی دو بار الکتریکی دو برابر شود، نیروی بین آن‌ها به  $\frac{1}{4}$  مقدار اولیه می‌رسد و هنگامی که فاصله‌ی بین دو بار الکتریکی سه برابر شود، نیروی بین آن‌ها به  $\frac{1}{9}$  مقدار نخستین می‌رسد.

در مرحله‌ی بعد، کولن بارهای متقارنی را به دو گره داد و نیروهای آن‌ها را در فاصله‌ی ثابت اندازه‌گیری کرد. او نتیجه گرفت که نیروی جاذبه یا دافعه‌ای که میان گره‌ها موجود می‌آید، به‌طور مستقیم با مقدار بار الکتریکی روی هر یک از گره‌ها متناسب است و در نتیجه، با حاصل ضرب آن‌ها تناسب دارد.

اگر دو بار الکتریکی را با  $q_1$  و  $q_2$  بار و فاصله‌ی بین آن‌ها را با  $d$  و نیرو را با  $F$  نمایش دهیم، قانون کولن به‌صورت رابطه‌ی زیر نوشته می‌شود:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

$K$  ضریبی است که به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی بستگی دارد که دو جسم باردار در آن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌گیری نیرو در خلأ صورت گیرد، در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) که در آن  $F$  برحسب نیوتن و  $q$  برحسب کولن و  $d$

برحسب متر است،  $K$  تقریباً برابر است با  $K = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ .

اگر به هنگام محاسبه بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی نشان دهیم، نیروی دافعه‌ی بین دو بار همنام با علامت مثبت و نیروی جاذبه‌ی بین دو بار غیر همنام با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود.

رابطه‌ی بار شده در مواردی به‌کار می‌رود که ابعاد دو جسم باردار خیلی کوچک باشد؛ به‌طوری که بتوان آن‌ها را در

حکم یک قطعه باردار دانست. هم‌چنین این رابطه را می‌توان در مورد دو جسم گری باردار به‌کار برد که بار الکتریکی به‌طور یک‌نواخت روی آن‌ها توزیع شده باشد. اگر این اجسام بزرگ و به هم نزدیک باشند، شکل و ابعاد آن‌ها و نیز چگونگی توزیع بار الکتریکی در آن‌ها در مقدار نیرو مؤثر است. علاوه بر این، جنس محیطی که اجسام در آن قرار دارند یا ماده‌ای که بین دو جسم قرار می‌گیرد، در مقدار نیرو نقش مؤثری دارد.

از رابطه‌ی  $F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$  فقط اندازه‌ی نیروی کولین

به‌دست می‌آید. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به هم وصل می‌کند و جهت نیرو به نوع بارهای الکتریکی دو جسم بستگی دارد. چنان که تقسیم، بارهای همنام یک‌دیگر را دفع و بارهای غیر همنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

$$F \leftarrow \oplus \quad \oplus \rightarrow F$$

$$\ominus \rightarrow FF \leftarrow \ominus$$

مثال ۱: نیروی بین دو بار الکتریکی مثبت که مقدار بار هر کدام یک کولن است، وقتی که فاصله‌ی آنها یک کیلومتر باشد چقدر است؟

$$q = q' = 1\text{C}$$

$$d = 1000\text{m} \quad F = K \frac{q_1 q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{(10^3)^2} = 900\text{N}$$

نیروی ۹۰۰ نیوتن نیروی زیادی است. بارهای ساکن معمولاً از یک کولن بسیار کم‌ترند.

## ۱-۱۳ شدت میدان الکتریکی

نیروی که در یک میدان الکتریکی بر واحد بار آزمون (بار مثبت) الکتریکی واقع در هر نقطه از این میدان وارد می‌شود، شدت میدان الکتریکی در آن نقطه نام دارد و آن را با  $E$  نمایش می‌دهند. باین، اگر بار مثبت  $q$  در نقطه‌ی معینی از میدان الکتریکی واقع شود و بر آن نیروی  $F$  وارد کند، شدت میدان الکتریکی در آن نقطه برابر خواهد بود با  $E = \frac{F}{q}$ . واحد شدت میدان الکتریکی در SI، نیوتن بر کولن است.

مثال ۲: در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی، بر بار الکتریکی مثبتی معادل  $10^{-6}$  کولن نیروی برابر با  $10^{-4}$  نیوتن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در این نقطه چقدر است؟

$$E = \frac{F}{q} = \frac{10^{-4}}{10^{-6}} = 1 \times 10^2 \frac{N}{C}$$

شدت میدان الکتریکی مانند نیرو، کمیتی برداری است که اندازه و راستا دارد. راستای  $E$  و  $F$  همواره یکی است ولی نیروی وارد بر بار مثبت، هم‌جهت با میدان و نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت میدان است.

## ۱۴-۱ اختلاف پتانسیل الکتریکی

دیده‌ام که وقتی یک جسم رسانا که بار الکتریکی منفی دارد به زمین متصل می‌شود، الکترон‌ها (یعنی بارهای منفی) از آن جسم به زمین می‌روند. هم‌چنین، اگر یک جسم رسانا با بار

الکتریکی مثبت با زمین اتصال پیدا کند، تعدادی الکترون از زمین به جسم منتقل می‌شوند. حرکت الکترون‌ها و به عبارت دیگر انتقال الکتریسیته به این علت صورت می‌گیرد که بین جسم رسانا و زمین اختلاف پتانسیل وجود دارد. بنابراین، می‌توان اختلاف پتانسیل را عامل یا شرط الکتریکی دانست که سبب جاری شدن الکتریسیته از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر می‌شود. با توجه به این واقعیت، می‌توان اختلاف پتانسیل را با اختلاف دما به گونه سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود به اختلاف فشار مایع بین دو ظرف به هم پیوسته به گونه سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد به مقایسه کرد.

همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما را در جسم مشخص می‌کند یا اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را نشان می‌دهد، اختلاف پتانسیل الکتریکی هم جهت جریان یا رفتن الکتریسیته را تعیین می‌کند.



اختلاف فشار مایع را جابجا می‌کند.



اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود.

شکل ۲۵-۱ مقایسه‌ای اختلاف پتانسیل الکتریکی با اختلاف دما و اختلاف فشار در مایع

زمین بار منفی دارد ولی اندازه‌ی این بار منفی به قدری زیاد است که دادن مقداری بار الکتریکی به آن یا گرفتن بار از آن در بار الکتریکی‌اش، تأثیر محسوسی نخواهد داشت.

زمین و پتانسیل الکتریکی صفر: در اندازه‌گیری‌های پتانسیل الکتریکی لازم است مبدأ مقایسه‌ی مناسبی با پتانسیل الکتریکی صفر انتخاب شود. درست همان‌طور که در اندازه‌گیری دما، نقطه‌ی ذوب یخ به عنوان مبدأ مقایسه یا نقطه‌ی صفر قبول شده است، در عمل زمین را نیز به عنوان مبدأ مقایسه‌ای که پتانسیل الکتریکی آن صفر است انتخاب کرده‌اند.

این انتخاب برای آسان شدن کار صورت گرفته است و معنایش این نیست که زمین بار الکتریکی ندارد. همان‌طور که نمی‌توان گفت یخ صفر درجه دارای انرژی داخلی نیست، درحقیقت،



شکل ۲۶-۱ زمین در حکم پتانسیل صفر

تذکره: در اندازه گیری دما نقطه‌ای در حکم صفر مطلق در نظر گرفته می‌شود که در آن انرژی داخلی ماده به حداقل ممکن می‌رسد. برای پتانسیل الکتریکی هم صفر مطلق پتانسیل منظور می‌شود که آن پتانسیل نقاط واقع در بی‌نهایت است، و عملاً پتانسیل آنها در حداقل ممکن یا به‌طور تقریبی صفر است.

**پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار:** معمولاً پتانسیل اجسام باردار را نسبت به زمین می‌سنجند. در این سنجش، پتانسیل زمین را بنا به قرارداد، صفر در نظر می‌گیرند. هنگامی که یک جسم باردار به وسیله یک رشته سیم به زمین متصل می‌شود، اگر الکترون‌ها از زمین به‌سوی جسم جریان یابند پتانسیل جسم مثبت است، برعکس، اگر در این ارتباط الکتریکی، الکترون‌ها از جسم به‌زمین روند پتانسیل جسم منفی است. بنابراین، پتانسیل اجسام باردار پس از اتصال به‌زمین صفر می‌شود.

**اندازه‌ی پتانسیل الکتریکی:** پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار که آن را با  $U$  نمایش می‌دهیم، بنا به تعریف عبارت است از کاری که باید انجام گیرد تا واحد بار الکتریکی مثبت از زمین به جسم انتقال یابد، واحد پتانسیل الکتریکی ولت است. بنابراین، اگر برای انتقال بار مثبت  $q$  کار  $W$  لازم باشد، پتانسیل جسم براساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$U = \frac{W}{q} \quad \left( \frac{\text{ژول}}{\text{کولن}} \right) = \frac{\text{ولت}}{\text{کولن}}$$

**اختلاف پتانسیل بین دو جسم باردار:** اختلاف پتانسیل بین دو جسم باردار که پتانسیل آن‌ها  $V_1$  و  $V_2$  است، بنا به تعریف عبارت است از انرژی‌ای که باید مصرف شود تا واحد بار الکتریکی مثبت از یک جسم به جسم دیگر انتقال یابد. اگر این اختلاف پتانسیل را نیز با  $U$  نمایش دهیم، بنا به این تعریف خواهیم داشت:

$$U = V_1 - V_2$$

مثلاً وقتی می‌گوییم اختلاف پتانسیل میان دو قطب یک باتری اتومبیل ۱۲ ولت است، یعنی برای انتقال واحد بار الکتریکی (یعنی یک کولن) از یک قطب به قطب دیگر ۱۲ ژول انرژی مصرف یا آزاد می‌شود. اگر قطب منفی این باتری را به زمین وصل کنیم، پتانسیل آن صفر و پتانسیل قطب مثبت ۱۲+ ولت می‌شود. برعکس، اگر قطب مثبت باتری را به زمین متصل کنیم،

پتانسیل این قطب صفر و پتانسیل قطب منفی ۱۲- ولت می‌شود. بنابراین، اختلاف میان دو قطب در هر حال ۱۲ ولت و ثابت است.

فرض می‌کنیم که دو قطب این باتری ۱۲ ولتی را مطابق شکل ۱-۲۸ به دو صفحه‌ی فلزی  $V_1$  و  $V_2$  وصل کرده‌ایم. اگر صفحه‌ی  $V_1$  را که دارای پتانسیل منفی است به زمین وصل کنیم، پتانسیل آن صفر می‌شود و پتانسیل صفحه‌ی  $V_2$  همان ۱۲+ ولت باقی می‌ماند. اگر بخواهیم در این حالت بار منفی  $q = -$  را از  $V_2$  به  $V_1$  انتقال دهیم، باید به اندازه‌ی  $W = U \cdot q$  انرژی مصرف کنیم. برعکس، اگر همین بار الکتریکی را از  $V_1$  به  $V_2$  برگردانیم، انرژی به مقدار  $W = U \cdot q$  آزاد خواهد شد. در این مثال، اگر  $V_1$  و  $V_2$  با یک رشته سیم به هم متصل شوند، الکترون‌ها به‌سوی  $V_2$  جریان می‌یابند و انرژی آزاد شده به گرما تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۲۸: وقتی بار الکتریکی به از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر که بین آن‌ها اختلاف پتانسیل  $U$  موجود است انتقال می‌یابد، انرژی به  $U \cdot q$  آزاد می‌شود.

**میدان الکتریکی یک‌نواخت:** در بسیاری از آزمایش‌هایی که به‌منظور بررسی ساختمان اتم انجام می‌گردد، لازم است ذرات باردار را از یک میدان الکتریکی یک‌نواخت عبور دهیم و رفتار آن‌ها را در این میدان مشاهده کنیم. میدان یک‌نواخت، میدانی است که شدت و جهت آن در حجم محدودی از فضا ثابت باشد. برای ایجاد چنین میدانی، می‌توانیم دو صفحه‌ی فلزی را که مطابق شکل ۱-۲۹ به‌طور موازی در مقابل یک‌دیگر قرار گرفته‌اند، به دو قطب یک باتری متصل کنیم. در این صورت، در فضای بین دو صفحه میدان الکتریکی یک‌نواختی ایجاد می‌شود ولی در فضای بیرون دو صفحه و در مجاورت لبه‌ی صفحه‌ها - همان‌طور که در شکل دیده می‌شود - میدان الکتریکی یک‌نواخت نیست.

مثال ۳: بین دو صفحه‌ی موازی که به فاصله‌ی ۲ سانتی متر از یکدیگر قرار دارند، اختلاف پتانسیل ۱۰۰۰ ولت برقرار شده است.

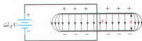
الف) شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه را حساب کنید.  
ب) اگر یک پروتون با بار مثبت  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  بین این دو صفحه قرار گیرد، چه نیروی بر آن وارد می‌شود؟  
ج) معادله‌ی داده شده عبارت‌اند از:  $d = 0.02 \text{ m}$  و  $U = 1000 \text{ V}$ .

$$E = \frac{U}{d} = \frac{1000}{0.02} = 50000 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 50000 \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad (\text{الف})$$

$$F = Eq = 50000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 8 \times 10^{-15} \text{ N} \quad (\text{ب})$$

### ۱۵-۱ کاربرد الکتریسیته‌ی ساکن

تاکنون تنها در مورد چگونگی خنثا کردن الکتریسیته‌ی ساکن سخن گفته‌ایم. اما الکتریسیته‌ی ساکن کاربردهای فراوانی نیز دارد؛ مثلاً در ماشین‌های چاپ الکترواستاتیکی (مثلاً زواری) نقش اصلی را بازی می‌کند و سبب می‌شود ذرات بودر مرکب در نقاط معینی به کاغذ سفید جذب شوند. یا برای رنگ آمیزی یکسواختن از دستگاه رنگ‌پاشی الکترواستاتیکی استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای الکتریسیته‌ی ساکن می‌توان به غبارگیرها و نیز ولت‌مترهای الکترواستاتیکی اشاره کرد.



شکل ۳۹-۱ میدان الکتریکی یک‌تراشت

فرض کنید می‌خواهیم بار مثبت  $+q$  را از صفحه‌ی بالایی به صفحه‌ی پایینی منتقل کنیم. انرژی لازم برای انجام این کار، با حال ضرب نیرو در تغییر مکان برابر است؛ یعنی  $W = Fd$  برای بدست آوردن هم‌ارز الکتریکی این معادله، کافی است روابط  $W = Uq$  و  $F = qE$  را به کار ببریم. بنابراین، اگر در رابطه‌ی  $W = Fd$  به جای  $W$  و  $F$  معادل آن‌ها را قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$Uq = qEd$$

$$E = \frac{U}{d}$$

در این رابطه،  $U$  اختلاف پتانسیل میان دو صفحه و  $E$  شدت میدان الکتریکی در صفحه بر حسب متر و  $d$  فاصله‌ی دو صفحه بر حسب متر و  $U$  شدت میدان بر حسب ولت/متر است. با توجه به واحد شدت میدان الکتریکی که قبلاً تعریف شده، خواهیم داشت:

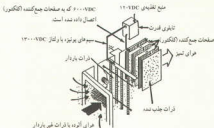
$$\frac{\text{نیوتن}}{\text{کولن}} = \frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$$

### معادله‌ی آزرو

حال به شرح بعضی از دستگاه‌هایی که با الکتریسیته‌ی ساکن کار می‌کنند، می‌پردازیم.

۱- دستگاه غبارگیر الکترواستاتیکی: این دستگاه به کمک الکتریسیته‌ی ساکن ذرات برانگنده در فضا را جذب می‌کند و بدین ترتیب هوا تمیز می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳۰-۱ مشاهده می‌کنید، در غبارگیرهای الکترواستاتیکی هوای آلوده از میان یک میدان الکتریکی قوی عبور می‌کند و ذرات غبار موجود در آن در اثر برخورد و تماس با صفحات منفی دارای بار منفی می‌شوند. وقتی این ذرات باردار از میدان الکتریکی دیگری عبور داده شوند، ذرات غبار که بار منفی گرفته‌اند جذب صفحه‌ی مثبت می‌شوند و هوای تمیز از دستگاه خارج می‌گردد. این دستگاه برق شهر را به ۱۴۰۰۰ ولت و ۶۰۰۰ ولت جریان مستقیم تبدیل می‌کند. این ولتاژ DC توسط سیم‌های رابط به صفحات در میدان الکتریکی اعمال می‌شود.





شکل ۳۰- ساختار خازن گیر الکترولیت

۳- دستگاه رنگ بانی الکترولیت: رنگ آمیزی کاملاً یک نواخت سطح بعضی اجسام بسیار مشکل است اما این مشکل با استفاده از الکترسیته‌ی ساکن حل می‌شود. جسمی را که قرار است رنگ شود، به پتانسیل مثبت بالایی وصل می‌کنند و ذرات رنگ در دستگاه بار منفی می‌گیرد. سپس این ذرات را با رنگ‌بانی به جسم می‌بندند و سطح آن را به‌طور کاملاً یک نواخت می‌پوشانند. در شکل ۳۱- دستگاه رنگ‌بانی الکترولیت را می‌بیند.



شکل ۳۱- دستگاه رنگ‌بانی الکترولیت

ولت متر الکترولیت و سیله‌ی دیگری برای اندازه‌گیری الکترسیته‌ی ساکن است. این دستگاه واسطی نیروی جاذبه‌ی موجود بین یک صفحه‌ی فلزی متحرک و یک صفحه‌ی ثابت که هر دو باردار می‌شوند، طراحی شده است. برای این که محلول‌هایی که به صفحات متصل شده‌اند متحرک باقی بمانند، از مدار جریان عبور نمی‌کند؛ چرا که صفحه‌ی ثابت نسبت به صفحه‌ی متحرک عایق شده است. این ولت مترها برای اندازه‌گیری الکترسیته‌ی ساکن بین ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ ولت ساخته شده است.

## ۱-۱۶- نظریه‌ی الکترونی

همان‌طور که گفتیم، الکتریسته هنگامی به وجود می‌آید که الکترون‌ها از آئینشان خارج شوند. برای این که بدانیم الکترون‌ها چگونه اتم‌ها را ترک می‌کنند، لازم است درباره‌ی ماهیت مدارهای الکترونی دوره‌هسته‌ای اتم پیش‌تر بدانیم. طبق شکل ۱-۳۹ الکترون‌ها با سرعت بسیار زیادی در مدار خود به دور هسته‌ی اتم گردش می‌کنند. چون سرعت



شکل ۱-۳۹- تعادل الکترون در مدار به علت تعادل نیروی جاذبه‌ی هسته و نیروی گریز از مرکز هست.



شکل ۱-۴۰- نیروی خارجی باعث آزادی الکترون می‌شود.

الکترون‌ها زیاد است، نیروی گریز از مرکز زیادشان. آن‌ها را به ترک مدارشان وا می‌دارد ولی نیروی جاذبه‌ی مثبت هسته از این عمل جلوگیری می‌کند. طبق شکل ۱-۴۱ اگر یک نیروی خارجی خیلی قوی به اتم داده شود تا به این نیروی گریز از مرکز کشک کند، الکترون آزاد می‌شود.

لازمه‌ها: الکترون‌های مدار نزدیک به هسته به سختی آزاد می‌شوند زیرا به نیروی مثبت نگاه‌دارنده‌ی خود بسیار نزدیک‌اند. هرچه الکترون‌ها از هسته دورتر باشند، شدت این نیروی مثبت

کم‌تر می‌شود. هرچه تعداد الکترون‌های یک اتم بیش‌تر باشد، مدارهای پیش‌تری وجود دارند، مسیر مدارهای الکترون‌ها را معمولاً لایه (shell) می‌گویند.

در جدول ۱-۲، ۱۰۴ عنصر همراه با اعداد الکترونی‌های هر لایه برای هر اتم آمده است.

اتم‌های تمام عناصر شناخته شده می‌توانند تا هفت لایه داشته باشند. در شکل ۱-۳۲ لایه‌های عناصر منی، گرین و هیدروژن را می‌بینید.

شناختنی از آن

جدول ۱-۲: عناصر و اعداد الکترونی‌های هر لایه

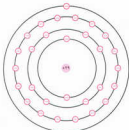
لایه‌های الکترون										
تعداد الکترون‌ها در هر لایه						تعداد الکترون‌ها در هر لایه				
عدد اتمی	عنصر	۱	۲	۳	۴	عدد اتمی	عنصر	۱	۲	۳
۱	Hydrogen, H	۱				۲۷	Cobalt, Co	۲	۸	۱۴
۲	Helium, He	۲				۲۸	Nickel, Ni	۲	۸	۱۴
۳	Lithium, Li	۲	۱			۲۹	Copper, Cu	۲	۸	۱۴
۴	Beryllium, Be	۲	۲			۳۰	Zinc, Zn	۲	۸	۱۴
۵	Boron, B	۲	۲	۱		۳۱	Gallium, Ga	۲	۸	۱۴
۶	Carbon, C	۲	۲	۲		۳۲	Germanium, Ge	۲	۸	۱۴
۷	Nitrogen, N	۲	۲	۳		۳۳	Arsenic, As	۲	۸	۱۴
۸	Oxygen, O	۲	۲	۴		۳۴	Selenium, Se	۲	۸	۱۴
۹	Fluorine, F	۲	۲	۵		۳۵	Bromine, Br	۲	۸	۱۴
۱۰	Neon, Ne	۲	۸			۳۶	Krypton, Kr	۲	۸	۱۴
۱۱	Sodium, Na	۲	۸	۱		۳۷	Rubidium, Rb	۲	۸	۱۴
۱۲	Magnesium, Mg	۲	۸	۲		۳۸	Strontium, Sr	۲	۸	۱۴
۱۳	Aluminum, Al	۲	۸	۳		۳۹	Yttrium, Y	۲	۸	۱۴
۱۴	Silicon, Si	۲	۸	۴		۴۰	Zirconium, Zr	۲	۸	۱۴
۱۵	Phosphorus, P	۲	۸	۵		۴۱	Niobium, Nb	۲	۸	۱۴
۱۶	Sulfur, S	۲	۸	۶		۴۲	Molybdenum, Mo	۲	۸	۱۴
۱۷	Chlorine, Cl	۲	۸	۷		۴۳	Technetium, Tc	۲	۸	۱۴
۱۸	Argon, Ar	۲	۸	۸		۴۴	Ruthenium, Ru	۲	۸	۱۴
۱۹	Potassium, K	۲	۸	۹		۴۵	Rhodium, Rh	۲	۸	۱۴
۲۰	Calcium, Ca	۲	۸	۱۰		۴۶	Palladium, Pd	۲	۸	۱۴
۲۱	Scandium, Sc	۲	۸	۹	۱	۴۷	Silver, Ag	۲	۸	۱۴
۲۲	Titanium, Ti	۲	۸	۱۰	۲	۴۸	Cadmium, Cd	۲	۸	۱۴
۲۳	Vanadium, V	۲	۸	۱۱	۳	۴۹	Indium, In	۲	۸	۱۴
۲۴	Chromium, Cr	۲	۸	۱۲	۴	۵۰	Snellium, Sn	۲	۸	۱۴
۲۵	Manganese, Mn	۲	۸	۱۳	۵	۵۱	Antimony, Sb	۲	۸	۱۴
۲۶	Iron, Fe	۲	۸	۱۴	۶	۵۲	Tellurium, Te	۲	۸	۱۴
۲۷	Cobalt, Co	۲	۸	۱۵	۷	۵۳				
۲۸	Nickel, Ni	۲	۸	۱۶	۸	۵۴				
۲۹	Copper, Cu	۲	۸	۱۷	۹	۵۵				
۳۰	Zinc, Zn	۲	۸	۱۸	۱۰	۵۶				
۳۱	Gallium, Ga	۲	۸	۱۹	۱۱	۵۷				
۳۲	Germanium, Ge	۲	۸	۲۰	۱۲	۵۸				
۳۳	Arsenic, As	۲	۸	۲۱	۱۳	۵۹				
۳۴	Selenium, Se	۲	۸	۲۲	۱۴	۶۰				
۳۵	Bromine, Br	۲	۸	۲۳	۱۵	۶۱				
۳۶	Krypton, Kr	۲	۸	۲۴	۱۶	۶۲				
۳۷	Rubidium, Rb	۲	۸	۲۵	۱۷	۶۳				
۳۸	Strontium, Sr	۲	۸	۲۶	۱۸	۶۴				
۳۹	Yttrium, Y	۲	۸	۲۷	۱۹	۶۵				
۴۰	Zirconium, Zr	۲	۸	۲۸	۲۰	۶۶				
۴۱	Niobium, Nb	۲	۸	۲۹	۲۱	۶۷				
۴۲	Molybdenum, Mo	۲	۸	۳۰	۲۲	۶۸				
۴۳	Technetium, Tc	۲	۸	۳۱	۲۳	۶۹				
۴۴	Ruthenium, Ru	۲	۸	۳۲	۲۴	۷۰				
۴۵	Rhodium, Rh	۲	۸	۳۳	۲۵	۷۱				
۴۶	Palladium, Pd	۲	۸	۳۴	۲۶	۷۲				
۴۷	Silver, Ag	۲	۸	۳۵	۲۷	۷۳				
۴۸	Cadmium, Cd	۲	۸	۳۶	۲۸	۷۴				
۴۹	Indium, In	۲	۸	۳۷	۲۹	۷۵				
۵۰	Snellium, Sn	۲	۸	۳۸	۳۰	۷۶				
۵۱	Antimony, Sb	۲	۸	۳۹	۳۱	۷۷				
۵۲	Tellurium, Te	۲	۸	۴۰	۳۲	۷۸				



هیدروژن یک لایه دارد.



گرم دو لایه دارد.



مس چهار لایه دارد.

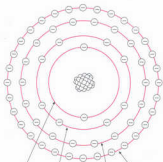
شکل ۳۴-۱ لایه‌های عناصر مس و کربن و هیدروژن

الکترون‌های آن الکترون‌های والانس نام دارند. چنان‌که در آینده خواهیم دید، تعداد الکترون‌های لایه‌ی والانس یک اتم در الکتربسته مهم است.

ظرفیت لایه: اگر جدول ۳-۱ را مطالعه کنید، خواهید دید که هر لایه می‌تواند تعداد معینی الکترون را در خود جای دهد. نزدیک‌ترین لایه به هسته (لایه‌ی اول) نمی‌تواند بیش از دو الکترون داشته باشد. لایه‌ی دوم نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون و لایه‌ی سوم بیش‌تر از ۱۸ الکترون داشته باشد. لایه‌ی چهارم نیز نمی‌تواند بیش‌تر از ۳۲ الکترون داشته باشد و الی آخر. تعداد الکترون‌های هر لایه را می‌توان از رابطه‌ی  $2n^2$  بدست آورد که در آن  $n$  شماره‌ی لایه است.

حال اگر دوباره به جدول توجه کنید، خواهید دید که تا عدد اتمی ۱۰، لایه‌ی دوم با ۸ الکترون کامل می‌شود. چون این آخرین حد برای لایه‌ی دوم است، باید لایه سوم شروع شود. از عدد اتمی ۱۱ تا ۱۸، لایه‌ی سوم با ۸ الکترون پر می‌شود و پس از آن لایه‌ی چهارم آغاز می‌گردد.

لایه‌ی خارجی (اطبقه‌ی والانس): همان‌طور که در جدول ۳-۱ مشاهده می‌کنید، اگرچه لایه‌ی سوم می‌تواند تا ۱۸ الکترون داشته باشد ولی قبل از این که لایه‌ی چهارم شروع شود، هرگز بیش‌تر از ۸ الکترون قبول نمی‌کند. این مسئله در مورد لایه‌ی چهارم نیز درست است. بدین ترتیب که با وجود این که می‌تواند تا ۳۲ الکترون داشته باشد، قبل از شروع لایه‌ی پنجم بیش‌تر از ۸ الکترون نمی‌پذیرد. این مسئله یک قانون کلی دیگر را نشان می‌دهد و آن، این است که لایه‌ی خارجی هر اتمی نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون داشته باشد. لایه‌ی خارجی یک اتم لایه‌ی والانس و



از لایه‌ی چهارم به بعد  
از ۳۲ الکترون جا  
نمی‌گیرد

از لایه‌ی سوم به بعد  
از ۱۸ الکترون جا  
نمی‌گیرد

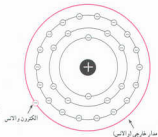
از لایه‌ی دوم به بعد  
از ۸ الکترون جا  
نمی‌گیرد

از لایه‌ی اول به بعد  
از ۲ الکترون جا  
نمی‌گیرد

شکل ۳۴-۲



شکل ۳۸-۱- خارج شدن الکترون لایه‌ی و آلانس و اثر انتقال انرژی خارجی

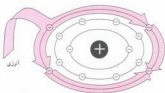


شکل ۳۹-۱- لایه‌ی و آلانس و الکترون‌های و آلانس

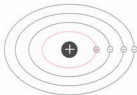
## ۱-۱۷ تولید الکتریسیته

در اثر آزاد شدن الکترون‌ها از اتمشان، الکتریسیته به وجود می‌آید. چون الکترون‌های و آلانس بیش از سایر الکترون‌ها از هسته دورند، و همچنین بالاترین سطح انرژی را دارند، به آسانی آزاد می‌شوند. انرژی داده شده به لایه‌ی و آلانس بین الکترون‌های آن لایه تقسیم می‌شود. در نتیجه، به ازای مقدار معینی انرژی، هرچه الکترون‌های و آلانس موجود پیش‌تر باشند هر الکترون انرژی

انرژی الکترون: اگرچه بار منفی الکترون‌ها یکسان است ولی الی الی آن‌ها انرژی یکسانی ندارند. الکترون‌هایی که در مدار به هسته نزدیک‌اند، نسبت به الکترون‌های مدارهای دورتر انرژی کم‌تری دارند. هرچه مدار یک الکترون از هسته دورتر باشد، انرژی آن بیش‌تر است.



شکل ۴۰-۱- تقسیم انرژی خارجی به چهار الکترون و آلانس



شکل ۴۱-۱- انرژی الکترون

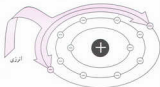
کم‌تری دریافت می‌کند.

اگر در اتم تعداد الکترون‌های و آلانس کم‌تر باشد، اتم هر الکترون مقدار بیش‌تری انرژی دریافت خواهد کرد و بدین‌صورت از مدار خود خارج خواهد شد.

اگر به یک الکترون انرژی کافی داده شود، می‌تواند از مدار خود خارج گردد و به مدار بالاتری (بعدی) برود. پس اگر به الکترون و آلانس انرژی کافی داده شود، آن نیز از مدار خود خارج می‌گردد و چون مدار بالاتری وجود ندارد، از اتم جدا می‌شود و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آید.

چون انرژی اتصال شده بین الکترون‌های والانس تقسیم می‌شود، اتم‌هایی که الکترون‌های والانس کم‌تری دارند به راحتی می‌توانند الکترون‌های خود را آزاد کنند. به این دلیل که هر الکترون انرژی بیش‌تری برای خارج شدن از مدار خود در یافت می‌کند. به سادگی که الکترون‌هایی به راحتی می‌توانند آزاد شوند، هادی می‌گویند. اتم‌های هادی‌های خوب فقط ۱ یا ۲ الکترون والانس دارند. اجسامی که اتم‌هایشان فقط یک الکترون والانس دارند، بهترین هادی‌ها محسوب می‌شوند.

با نگاه کردن به جدول امپی ۱-۲، می‌توانید هادی‌های خوب را تعیین کنید. عده‌ای آن‌ها یک الکترون والانس دارند. فلزاتی که اغلب شما با آن‌ها آشنا هستید، عبارت‌اند از: مس (عدد اتمی ۲۹)، نقره (عدد اتمی ۴۷) و طلا (عدد اتمی ۷۹).



شکل ۱-۲۰ انرژی وارد شده بین دو الکترون تقسیم می‌شود.

### ۱-۱۸ هادی‌ها

لایه‌ی والانس می‌تواند تا ۸ الکترون والانس داشته باشد.



شکل ۱-۲۱ الکترون‌های والانس هادی‌های خوب

۸ استثنا برشده‌اند. انرژی داده شده به جشین اتمی بین تعداد زیادی از الکترون‌ها تقسیم می‌شود. علاوه بر این، منابع دیگری برای آزاد شدن این الکترون‌ها وجود دارد و آن پایداری شیمیایی است.

### ۱-۱۹ عایق‌ها

عایق‌ها موادی هستند که آزاد کردن الکترون‌های مدار آخر آن‌ها بسیار مشکل است. لایه‌های والانس اتم‌های عایق، معمولاً ۸ الکترون دارند یا با حداقل بیش از ۴ الکترون (که نصف



شکل ۱-۲۲ عایق خوب

هر اتمی که آخرین لایه‌ی الکترونی‌اش ۸ الکترون والانس داشته باشد، کاملاً پایدار است. اتم پایدار در حقیقت با هیچ اتم دیگری برای ترکیب شرکت نمی‌کند.

شش عنصر طبیعی پایدار وجود دارد: هلیوم، نئون، آرگون، کریپتون، ژنون، رادون که آن‌ها را گازهای بی اثر می‌نامند.

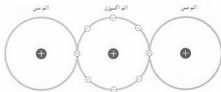
همه‌ی اتم‌هایی که کمتر از ۸ الکترون والانس دارند، سعی می‌کنند که به حالت پایدار برسند. اتم‌هایی که کم‌تر از نیمه پر شده‌اند (عادی‌ها)، سعی در از دست دادن الکترون‌هایشان دارند تا طبقه‌ی تاب‌پاداشان را تخلیه کنند ولی آن‌هایی که بیش‌تر از نیمه پر شده‌اند (عائین‌ها)، سعی در جمع‌آوری الکترون دارند تا طبقه‌ی والانشان را پر کنند. در نتیجه، نه تنها آزاد کردن الکترون‌هایشان مشکل است بلکه اتم‌های عایق با تعامیل برای گرفتن الکترون‌هایی که آزاد شده‌اند، از تولید الکتریسیته جلوگیری می‌کنند. اتم‌هایی که ۷ الکترون والانس دارند، اغلب فعالیت‌ها می‌کنند که لایه‌ی آخرشان را پر کنند. آن‌ها عایق‌های الکتریکی بسیار خوبی به‌شمار می‌روند.

ترکیب‌های شیمیایی به‌همخوان عایق: تعامیل اتم‌ها به پایدار شدن، عامل اصلی در تعیین چگونگی ترکیب اتم‌های عناصر برای تشکیل مولکول یک ترکیب است. تعامیل اتم‌ها برای ترکیب چنان است که مولکولی با ۸ الکترون والانس تشکیل دهند. آب را در نظر بگیرید؛ فرمول آن  $H_2O$  است؛ یعنی، دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن در مولکول آب وجود دارد. اگر به عناصر ۱ و ۸ در جدول ۱-۲ توجه کنید، خواهید دید که

هر یک از دو اتم هیدروژن یک الکترون والانس و اتم اکسیژن ۶ الکترون والانس دارد که بر روی هم ۸ الکترون والانس را به‌وجود می‌آورند. هر اتم هیدروژن، الکترون والانس خود را با اتم اکسیژن به اشتراک می‌گذارد. این الکترون‌های مشترک اتم‌ها را به یک‌دیگر پیوند می‌دهد تا یک مولکول  $H_2O$  به‌وجود آورند. به این نوع پیوند، پیوند کووالانس می‌گویند. آب خالص یک عایق خوب است. در دیگر ترکیبات، مانند کلرید سدیم  $NaCl$  یک اتم، یک الکترون را از دست می‌دهد تا به یک یون مثبت تبدیل شود و دیگری آن الکترون را می‌گیرد تا به یک یون منفی شود. این دو یون از راه جذب به یک‌دیگر پیوند می‌یابند. به این نوع پیوند، یونی یا پیوند الکتریکی والانس می‌گویند. کل مولکول ۸ الکترون والانس دارد و در نتیجه پایدار است.

دو اتم در حال ترکیب تعامیل زیادی به رسیدن به حالت پایدار دارند. به همین دلیل، اغلب ترکیبات مانند نیتره، جوب، کاتوجو، پلاستیک و میکا عایق‌های بسیار خوبی هستند. به‌خاطر دانسته باشید که هیچ جسمی کاملاً عایق نیست و آزاد کردن الکترون از چنین اجسامی بسیار مشکل است.

مس هادی بسیار خوبی است؛ زیرا یک الکترون والانس دارد ولی هنگامی که دو اتم مس با یک اتم اکسیژن ترکیب می‌شوند، یک مولکول دی‌اکسید مس  $Cu_2O$  ایجاد می‌شود. در این حالت، ۸ الکترون والانس برای کامل و پایدار کردن مولکول وجود دارد. اکسید مس عایق خوبی است.



شکل ۱-۲۳-۱ مولکول اکسید مس

## ۲-۱-۲ نیمه هادی‌ها

لایه‌های والانس هادی‌ها کم‌تر از نیمه‌بر و لایه‌های والانس عایق‌ها بیشتر از نیمه بر است، به عبارتی که اتم‌های آن ۴ الکترون والانس دارند، نیمه‌هادی می‌گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌ها عبارتند از: ژرمانیم، سیلیکون (سیلیسیم)، سلتیم و اکسید مس یک ظرفیتی.

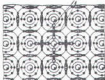
اتم سیلیکون از یک هسته تشکیل شده است که ۱۰ الکترون



ساختار کریستالی سیلیکون

شکل ۱-۲۴

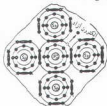
نوع الکترون



نوع الکترون در پیوند کریستال سیلیکون

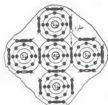
در لایه‌های داخلی و ۴ الکترون والانس آن را احاطه کرده‌اند. اگر ژرمانیم یا سیلیکون خالص را ذوب و در شرایط مساعدی سرد و منجمد کنیم، کریستالی تشکیل می‌شود که در آن هر اتم به وسیله ۴ الکترون لایه والانس خود به ۴ اتم دیگر مربوط شده است، در شکل ۱-۲۴ ساختار ساده کریستالی و اتصال اتم‌ها را به وسیله الکترون‌های والانس به یکدیگر می‌بینید.

اگر مقدار کمی عنصر پنج ظرفیتی را که دارای ۵ الکترون والانس است به سیلیکون خالص مذاب اضافه کنیم، پس از سرد شدن کریستالی بوجود می‌آید که فقط ۴ الکترون آن در ساختار کریستال شرکت کرده‌اند. یکی از الکترون‌ها اضافی است و در دمای اتاق می‌تواند در داخل کریستال جابه‌جا شود و کریستال را هادی کند. چنین کریستالی را نیمه‌هادی نوع N می‌نامند؛ زیرا بارهای متحرک در آن (الکترون‌ها) منفی هستند. در شکل ۱-۲۵ نیمه‌هادی نوع N را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۲۵ ساختار نیمه‌هادی نوع N

در صورتی که عنصری ۳ ظرفیتی (مانند آنتیمون) را به کریستال ۴ ظرفیتی اضافه کنیم، محل خالی این الکترون را حفره می‌نامند. در دمای اتاق بعضی از اتم‌ها با آزاد کردن الکترون، حفره‌ای مجاور خود را پر می‌کنند ولی حفره‌ای جدیدی در آن‌ها بوجود می‌آید؛ بنابراین، کریستال هادی می‌شود. چنین کریستالی را نیمه‌هادی نوع P می‌نامند. در شکل ۱-۲۶ نیمه‌هادی نوع P را می‌بینید.



شکل ۱-۲۶ ساختار نیمه‌هادی نوع P



در سال‌های بعد خواهید آموخت که از نیمه‌های‌های نوع N و P چگونه در ساخت دیودها و ترانزیستورها استفاده می‌شود.

## ۱-۲۱ مقایسه‌ی هادی‌ها

قابلیت هدایت بعضی فلزات از سایر فلزات بهتر است. برای مثال، با آن که اتم‌های مس و نقره و طلا هر یک فقط یک الکترون والانس دارند که به آسانی آزاد می‌شوند اما نقره بهترین هادی است و پس از آن مس و طلا قرار دارند. این بدان علت است که نقره در مقدار معینی ماده، نسبت به فلزات دیگر دارای اتم‌های بیش‌تری است و در نتیجه، قدرت آزادسازی الکترون‌های آزاد بیش‌تری را دارد.

## ۱-۲۲ مقایسه‌ی هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌های‌ها

هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های لایه‌ی آخرشان به راحتی آزاد می‌شوند. بیش‌تر فلزاتی که هادی‌های الکتریکی خوبی هستند، الکترون‌های آزاد بیش‌تری دارند.

عایق‌ها مانند شیشه، کاغذ، پلاستیک، چوب، سرامیک و میکا الکترون‌هایی دارند که آزادسازی آن‌ها بسیار مشکل است. نیمه‌های‌ها الکترون‌های آزاد خیلی کمی دارند. نیمه‌های‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آزادشان بیش‌تر از عایق‌ها و کم‌تر از هادی‌هاست.



شکل ۱-۲۲ مقایسه‌ی هادی‌های خوب



در شکل ۱-۲۰ ساختمان یک لامپ رشته‌ای و مواد تشکیل دهنده آن و کاربردهای به کار رفته در آن را می‌بینید.



شکل ۱-۲۰: ساختمان یک لامپ

## خاصه‌ی مطالب

«الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام الکترون و پروتون تولید می‌شود.» هر چیزی که وزن دارد و فضا اشغال می‌کند، ماده نام دارد. ماده ممکن است به یکی از سه حالت جامد، مایع و گاز باشد. «۹۹ عنصر طبیعی وجود دارد و باقی‌مانده عناصر ساختاری دست بشرند. از مخلوط کردن، ترکیب عناصر، ترکیبات به وجود می‌آیند که از نظر خواص کاملاً با عناصر تشکیل دهنده‌ی خود متفاوت اند.

«مولکول کوچک‌ترین ذره‌ی یک ترکیب است که خواص همان ترکیب را دارد. مولکول از دو یا چند اتم مشابه با تفاوت تشکیل می‌شود.

«اتم کوچک‌ترین ذره‌ی یک عنصر است که خواص آن عنصر را دارد.» اتمی یک عنصر با اتم عناصر دیگر متفاوت است. فقط به این علت که تعداد ذرات زیرتر از اتمی که هر یک از عناصر دارند، متفاوت است. سه نوع اصلی ذرات اتمی عبارت‌اند از: الکترون، پروتون و نوترون.

به قسمت مرکزی اتم هسته گفته می‌شود. تعداد پروتون‌های داخل هسته تلاوت بین عناصر را تعیین می‌کند. عناصر مختلف با عدد اتمی مشخص می‌شوند. به تعداد پروتون‌های داخل هسته عدد اتمی می‌گویند. پروتون بار مثبت دارد و  $+1.6 \times 10^{-19}$  برابر از الکترون سنگین‌تر است و در هسته‌ی اتم قرار دارد. جدا کردن آن از هسته بسیار مشکل است. «الکترون بار الکتریکی منفی دارد و  $-1.6 \times 10^{-19}$  بار از پروتون سبک‌تر است. در مدارهایی به دور هسته می‌چرخد و حرکت دادن آن بسیار آسان است. نوترون از نظر الکتریکی خنثی است و در داخل هسته قرار دارد.

بار الکترواستاتیکی معنی الکترون مساوی و مخالف بار مثبت پروتون است. «میدان‌های الکترواستاتیکی به وسیله‌ی خطوط نیروی مربوط به بارها تولید می‌شوند.» بارهای هم‌نام یک دیگر را دفع می‌کنند، پروتون (+) ، پروتون (+) دیگر را دفع می‌کند، الکترون (-) ، الکترون (-) دیگر را دفع می‌کند، بارهای غیر هم‌نام یک دیگر را جذب می‌کنند، پروتون (+) ، الکترون (-) را جذب می‌کند.

اگر تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های یک اتم مساوی باشند، آن اتم خنثی است. اگر تعداد الکترون‌های یک اتم کم‌تر از پروتون‌هایش باشد، اتم بار مثبت دارد. «اگر تعداد الکترون‌های یک اتم بیش‌تر از پروتون‌هایش باشد، بار منفی دارد.» اتم‌هایی که بار مثبت یا منفی داشته باشند، یون نام دارند. اجسام را می‌توان از طریق اصطکاک، تماس یا القا باردار کرد. خطا کردن جسم باردار از راه تماس دادن آن با جسمی که بار مخالف دارد، صورت می‌گیرد. «در جسمی که به‌طور منفی باردار شده است، به‌اندازه‌ی یک جهت خطوط نیرو از بیرون به درون جسم است، خطوط نیرو به‌اندازه‌ی بار از یک جسم باردار مثبت خارج می‌شوند.» میدان‌های الکترواستاتیکی که به وسیله‌ی خطوط نیرو تولید شده‌اند، با هم جمع می‌شوند یا با یک دیگر مخالفت می‌کنند تا سر انجام جذب و دفع کنند. مقدار نیروی جاذبه‌ی دو بار به مقدار باری که هر یک از دو جسم دارند و به فاصله‌ی آن‌ها از یک دیگر بستگی دارد. «قانون بارهای الکترواستاتیکی (کولن) شدت نیروهای جاذبه و دفعه را بین دو جسم باردار مشخص می‌کند. این نیرو با حاصل ضرب دور نسبت مستقیم و با مربع فاصله‌ی بین آن دو نسبت معکوس دارد.

«الکترون‌ها با سرعت بسیار زیاد در مدارهایشان به دور هسته‌ی اتم‌ها می‌گردند. این سرعت زیاد، نیروی گریز از مرکز را که سعی در خارج کردن الکترون‌های وائس از مدارهایشان دارد، زیاد می‌کند، نیروی جاذبه‌ی مثبت هسته مانع از این عمل می‌شود. با اعمال نیروی طار می‌توان الکترون‌ها را از اتم آزاد کرد.» نیروی جاذبه‌ی

مثبت هستند بر روی الکترون‌های مدار نزدیک‌تر به هسته بیش‌تر و در نتیجه آزادسازی آن‌ها مشکل‌تر است.

« الکترون‌ها در یکی از ۷ لایه (طبقه) گردش می‌کنند. » « داخلی‌ترین لایه می‌تواند حداکثر ۲ الکترون داشته باشد. دومین لایه ۸، سومی ۱۸، چهارمی ۳۲ و ... الکترون می‌گیرند. » لایه‌ی خارجی یک اتم، لایه‌ی والانس است.

« لایه‌ی والانس هرگز نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون داشته باشد. » اتمی که لایه‌ی والانس آن کاملاً پر باشد، پایدار و از نظر شیمیایی غیرفعال است. « الکترون‌های مدارهای دورتر از هسته، انرژی بیش‌تری دارند. اگر به یک الکترون انرژی کافی داده شود، می‌تواند به‌مدت کوتاهی از مدار بیرون بیرون آید. اگر به یک الکترون والانس انرژی کافی داده شود، این الکترون آزاد می‌شود.

« عبور الکترون‌های آزاد شده در میان الکترون‌های موجود می‌آورد.

« هادی‌ها اجسامی هستند که یک یا دو الکترون والانس دارند و این الکترون‌ها به آسانی آزاد می‌شوند.

« عایق‌ها اجسامی هستند که در با بیش‌تر الکترون والانس دارند و آزادسازی آن‌ها بسیار مشکل است.

« نیمه‌هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آزاد آن‌ها از عایق‌ها بیش‌تر و از هادی‌ها کمتر است. وجود ناخالصی در نیمه‌هادی‌ها قابلیت هدایتشان را بهتر می‌کند. » پیوند نیرویی است که اتم‌ها را در کنار هم نگه می‌دارد تا ترکیب تولید کند. الکترون‌ها در ترکیبات شکل‌های هشت‌گانه پایدار به‌وجود می‌آورند.

## پرسش

- ۱- چه ذراتی الکتریسیته تولید می‌کنند؟
- ۲- چند عنصر طبیعی وجود دارد؟
- ۳- عدد اتمی یک عنصر را تعریف کنید.
- ۴- پروتون بار ..... و الکترون بار ..... دارد.
- ۵- در هسته‌ی اتم چه ذراتی وجود دارند؟ در مدارها چه طور؟
- ۶- کوچک‌ترین ذره‌ای که خواص یک ترکیب را داراست، چه نام دارد؟ کوچک‌ترین ذره‌ای که خواص یک عنصر را داراست، چه نام دارد؟
- ۷- نمک یک عنصر است یا ترکیب؟ گسزن و آب چه طور؟
- ۸- پروتون سنگین‌تر است یا الکترون؟ چه مقدار؟
- ۹- کدام یک قطر بزرگ‌تری دارند؟ پروتون یا الکترون؟ چه مقدار؟
- ۱۰- بار الکتریکی نوترون چیست؟
- ۱۱- اگر یک الکترون در نزدیکی یک پروتون باشد، آیا پروتون، الکترون را جذب می‌کند یا دفع؟
- ۱۲- چرا پروتون‌های داخل هسته با نیروی کافی یک‌دیگر را دفع نمی‌کنند تا هسته منهدم شود؟
- ۱۳- آیا پروتون‌های داخل هسته نسبت به یک‌دیگر نیروی دافعه دارند؟
- ۱۴- بار یک جسم که تعداد الکترون‌هایش کمتر از پروتون‌هاست، چیست؟
- ۱۵- سه راه برای باردار کردن یک جسم را نام ببرید.
- ۱۶- اگر یک میله‌ی کاتوچوبی به یک تکه پشم مالش داده شود چه باری می‌گیرد؟ باز پشم چیست؟
- ۱۷- چگونه می‌توان یک جسم باردار را خنثا کرد؟
- ۱۸- آیا خطوط نیرو به یک الکترون وارد می‌شوند یا از آن خارج می‌گردند؟

- ۱۹- آیا نیروی دافعه‌ی بین دو الکترون با فاصله‌ی کم بیشتر است یا با فاصله‌ی زیاد؟ اگر فاصله‌ی بین یک پروتون و یک الکترون دو برابر شود، اندازه‌ی نیروی جاذبه در مقایسه با نیروی قبلی چقدر است؟
- ۲۰- قانون کولن را شرح دهید.
- ۲۱- چگونه می‌توان یک سله‌ی فلزی را در اثر حالتش باردار کرد؟
- ۲۲- چرا به عقب پدای فلزی لغت‌کنش‌ها زنجیر کوتاهی که با سطح زمین تماس دارد، آویزان می‌کنند؟
- ۲۳- چه عاملی مانع آزاد شدن الکترون بر اثر نیروی گرما از مرکز می‌شود؟
- ۲۴- لایه چیست و دور هر اتم چند لایه وجود دارد؟
- ۲۵- الکترون والانس چیست؟
- ۲۶- حداکثر تعداد الکترون‌های والانس در هر اتم چقدر است؟
- ۲۷- الکترون آزاد چیست؟
- ۲۸- چرا ترکیبات عایق‌های خوبی هستند؟ دو نوع عایق خوب را نام ببرید.
- ۲۹- دو نیمه هادی و دو هادی را نام ببرید.
- ۳۰- خصوصیات نیمه‌هادی‌ها را بنویسید.
- ۳۱- چرا به ترکیبات، ناخالصی اضافه می‌کنند؟
- ۳۲- آیا عنصری که نشن الکترون والانس دارد، هادی خوبی است؟ دو الکترون والانس چه طور؟
- ۳۳- ساختمان کریستالی عناصر نیمه‌هادی را توضیح دهید.
- ۳۴- ساختمان کریستال نیمه‌هادی نوع P و N را شرح دهید.
- ۳۵- شدت میدان الکتریکی را شرح دهید.
- ۳۶- اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعریف کرده و واحد اندازه‌گیری آنرا بیان کنید.

## تمرین

- ۱- دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هر یک برابر  $1 \times 10^{-6}$  کولن به فاصله‌ی دو متر از یک دیگر قرار دارند. نیروی بین آنها چند نیوتن است؟

$$\text{ج } 22/5 \text{ N}$$

- ۲- اندازه و نوع نیروی بین یک بار منفی ۵ میکروکولنی و یک بار مثبت ۹ میکروکولنی را که به فاصله‌ی ۹ سانتی‌متر از یک دیگر قرار دارند، تعیین کنید.

$$\text{ج } 11/11 \text{ N}$$

- ۳- دو بار همنام وقتی به فاصله‌ی ۴ از یک دیگر واقع شوند، نیروی معین F را بهم وارد می‌کنند. البته اگر فاصله‌ی دو بار را نصف، دوربار یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟  
مبادا اگر در فاصله‌ی ثابت ۴ اندازه‌ی یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دوربار یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر می‌کند؟

- ۴- بار مثبت  $5 \times 10^{-9}$  کولنی وقتی دو نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیروی برابر  $0.1 \text{ N}$  بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

$$\text{ج } E = 2 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

۵- شدت میدان الکتریکی در یک میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم جهت است) برابر  $\frac{N}{C} \times 100$  است. اندازه‌ی نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را  $1.6 \times 10^{-19}$  بگیرید.

$$\text{اج } F = 1.6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

۶- بار مثبتی معادل  $6 \times 10^{-7}$  کولن در فاصله‌ی ۳۰ سانتی متر از یک بار منفی معادل  $3 \times 10^{-7}$  کولن قرار دارد. نیروی بین این دو بار را حساب کنید و نوع آن را مشخص نمایید.

$$\text{جوابه } F = 1.8 \times 10^{-7} \text{ N}$$

۷- اتم هیدروژن از یک پروتون و یک الکترون تشکیل شده که فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر  $5.1 \times 10^{-11}$  متر است. اگر بار الکتریکی یک الکترون یا یک پروتون را معادل  $1.6 \times 10^{-19}$  بگیریم، چه نیروی الکترون و پروتون را در اتم هیدروژن بهم پیوند می‌دهد؟

$$\text{اج } F = 8.1 \times 10^{-9} \text{ N}$$

۸- بار مثبت ۹ میکروکولمی نیروی دافعه‌ای برابر  $7/9$  نیوتن بر بار دیگری که در فاصله‌ی ۵ سانتی متری آن است وارد می‌کند. اندازه و علامت بار دوم را همین کنید.

$$\text{مثبت و } q = 0.5 \times 10^{-6} \text{ C}$$

۹- بار الکتریکی  $q$  در میدان الکتریکی یکنواخت به شدت  $2 \cdot \frac{N}{C}$  قرار گرفته و نیروی برابر  $3 \times 10^{-9}$  بر آن وارد شده است. مقدار بار  $q$  چند کولمی بوده است؟

$$\text{اج } q = 1.5 \times 10^{-2} \text{ C}$$

۱۰- اگر یک الکترون که بار الکتریکی آن در حدود  $1.6 \times 10^{-19}$  کولن است، از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B که اختلاف پتانسیل مبانی آن دو نقطه یک ولت است برود، کار حاصل از انتقال آن چند ژول است؟

$$\text{ژول } W = 1.6 \times 10^{-19}$$

۱۱- بار الکتریکی معادل  $6 \times 10^{-6}$  کولن از یک نقطه به سطح یک گوی فلزی کوچک که روی پایه‌ی عایقی قرار دارد، منتقل شده و در این انتقال  $1/8 \times 10^{-7}$  ژول کار انجام گرفته است. پتانسیل سطح گوی فلزی را حساب کنید.

$$\text{اج } U = 2000 \text{ V}$$



## آشنایی با روش‌های تولید الکتریسته

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

- ۱- روش‌های تولید الکتریسته را نام ببرد.
- ۲- هر یک از روش‌های تولید الکتریسته را شرح دهد.
- ۳- مورد استفاده‌ی هر یک از روش‌های تولید الکتریسته را نام ببرد.

توضیح اضافی: این کار را به روش‌های زیر می‌توان انجام داد.

در فصل اول، در مورد چگونگی طراح کردن الکتردها از مدارهایشان سخن گفتیم ولی در مورد چگونگی انجام این کار



شکل ۱-۲- روش‌های تولید الکتریسته



## ۲-۱- الکتریسیته‌ی حاصل از اصطکاک (مالش)

دربارۀ این روش از فصل اول (الکتریسیته‌ی ساکن) مطالبی آموختید. هنگامی که دو جسم مانند ابرشم و میله‌ی نیشه‌ای یا کاتوجوی را به یکدیگر مالش دهید، بار الکتریکی تولید می‌شود. به این بارها الکتریسیته‌ی ساکن می‌گویند. الکتریسیته‌ی ساکن هنگامی به وجود می‌آید که جسمی الکترون‌هایش را به جسم دیگر منتقل کند. البته چگونگی این انتقال هنوز به درستی معلوم نشده است ولی یک نظریه در این مورد چنین است که در سطح ماده، اتم‌هایی وجود دارند که به حلال سایر اتم‌های ماده نمی‌توانند با اتم‌های دیگر درگیر شوند. در نتیجه، آن‌ها در سطح خارجی چند الکترون آزاد دارند و به همین دلیل خاکی‌هایی مانند نیشه و کاتوجو می‌توانند الکتریسیته‌ی ساکن را تولید کنند. و اثر مالش، در اتم‌های سطح خارجی برای آزاد کردن الکترون‌ها انرژی حرارتی به وجود می‌آورد که به آن اثر تریبو الکتریک (TRIBOELECTRIC) نیز می‌گویند.



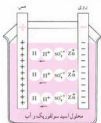
پس از مالش دادن یک میله‌ی کاتوجوی به پشم، آن‌ها دارای بار الکتریکی می‌شوند.

## شکل ۲-۲- الکتریسیته‌ی مالشی تریبو الکتریک

## ۲-۲- الکتریسیته‌ی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی

مواد شیمیایی با غلظت مشخصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌هایی شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها

و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری معمولی از این راه الکتریسیته تولید می‌کند. این پدیده بر قوانین الکتروستاتیکی مبتنی است. برای مثال، می‌توان باتری تر را نام برد. اسید سولفوریک هنگامی که در یک ظرف نیشه‌ای با آب (به عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو ماده‌ی شیمیایی - هیدروژن ( $H_2$ ) و سولفات ( $SO_4$ ) - تجزیه می‌گردد. به علت طبیعت ترکیبات شیمیایی، اتم‌های هیدروژن یون‌های مثبت ( $H^+$ ) و اتم‌های سولفات یون‌های منفی ( $SO_4^{2-}$ ) دارند. تعداد بارهای مثبت و منفی مساوی‌اند و در نتیجه، کل محلول از نظر بار الکتریکی خنثی است. پس از آن، هنگامی که میله‌های مسی با روی را به داخل محلول وارد می‌کنیم، با محلول ترکیب می‌شوند.



شکل ۲-۳- ساختار یک نوع باتری

فقر روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی‌اند، یون‌های مثبت ( $Zn^{2+}$ ) از میله‌ی فیزی روی خارج می‌شوند. در اثر خارج شدن یون‌های مثبت از میله‌ی روی، میله دارای الکترون‌های اضافی می‌شود. پس به‌طور متغی باردار می‌گردد. یون‌های روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شوند و آن‌ها را خنثی می‌کنند. در این حالت، محلول از نظر بارهای مثبت غنی‌تر است. یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌های آزاد میله‌ی مسی را جذب و محلول را دوباره خنثی می‌کنند ولی در این حالت، میله‌ی مسی کمبود الکترون خواهد داشت. در نتیجه، به‌طور مثبت باردار خواهد شد.

### ۳-۲- الکتريسته‌ي حاصل از فشار مکانیکی

هنگامي که به بعضي اجسام فشار وارد مي‌کنيم، الکترون‌هاي آن‌ها در جهت تيرو از مدار خارج مي‌شوند. در نتيجه، الکترون‌ها يک طرف جسم را ترک مي‌کنند و در طرف ديگر آن جمع مي‌شوند. پايان اين، در دو جهت مخالف جسم بارهاي مثبت و منفي به وجود مي‌آيد. هنگامي که فشار قطع مي‌شود، الکترون‌ها به مدارهاي خود باز مي‌گردند. اجسام را معمولاً به اشکال معيني مي‌روند تا سطح باردار را کنترل کنند. بعضي از

اجسام در مقابل فشارهاي خمشي و بعضي ديگر در مقابل فشارهاي چرخشي شکلي العمل نشان مي‌دهند.

به از فشار براي توليد بارهاي الکتریکي، اثر پيزو الکتریک (PIEZOELECTRIC EFFECT) مي‌گویند. پيزو يک کلمه‌ي يوناني به معنای فشار است. اين اثر پيش‌تر در مورد کريستال‌ها (مانند نمک روجل) و بعضي سرامیک‌هاي مخصوص (مانند تيتان باريم) خود را نشان مي‌دهد. کريستالهاي پيزو الکتریک در بعضي میکروفون‌ها و يکايک‌هاي گرام مورد استفاده قرار مي‌گيرند.

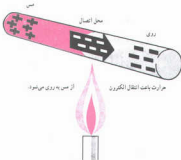


شکل ۹-۲- اثر پيزو الکتریک

### ۳-۳- توليد الکتريسته به وسيله‌ي حرارت

همان‌طور که مي‌دانيد، بعضي از اجسام الکترون از دست مي‌دهند و بعضي ديگر الکترون جذب مي‌کنند. در نتيجه بين دو جسم غير مشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت مي‌گيرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولي افاقي نيز مي‌توانند الکترون آزاد کنند. براي مثال، اگر مس و روي را به يک ديگر متصل

کنيم، الکترون‌ها از اتم مس خارج و به اتم روي وارد مي‌شوند. در نتيجه، قطب روي الکترون‌هاي اضافي کسب مي‌کند و به‌طور متقني باردار مي‌شود و مس که الکترون‌هاي خود را از دست داده است، داراي بار مثبت مي‌شود.



شکل ۳-۴-۱- ترمو الکترونیک (الکتروسیستم حرارتی)

جسمی را بخورد می کشند، انرژی خود را از دست می دهند، در بعضی اجسام، انرژی فوتون ها باعث آزادی الکترون ها می شود. اجسامی مانند پتاسیم، سدیم، لیتیم، سلنیوم، ژرمانیم، کادمیم و سولفات سرب در مقابل نور الکترون از دست می دهند. از این نور فوتو الکترونیک به سه روش می توان استفاده کرد :

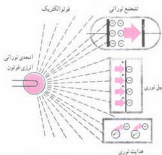
۱- تشعشع فوتو الکترونیک نامی از انرژی فوتون های یک شعاع نورانی باعث تخلیه الکترون های یک سطح در لامپ خلا می شود. سپس یک صفحه<sup>۱</sup> این الکترون ها را جمع می کند. ۲- فوتوولتیک<sup>۲</sup> : انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه متصل به هم، باعث تخلیه الکترون از یکی به دیگری می شود. در نتیجه مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می شود.

۳- هدایت نوری<sup>۳</sup> : اگر به بعضی اجسام که هادی های خوبی نیستند انرژی نورانی بدهیم، الکترون های آزاد در جسم تولید می شوند و در نتیجه به هادی های بهتری تبدیل می گردند.

بارهایی که در درجه ای حرارت اتاق تولید می شوند، کم هستند ؛ زیرا انرژی حرارتی کافی برای آزاد کردن الکترون های بیش تر وجود ندارد ولی اگر محل اتصال دو فلز را حرارت دهیم، انرژی بیش تری تولید می شود و الکترون های بیش تری آزاد می گردند. به این روش ترمو الکتروسیستم گفته می شود. هرچه حرارت داده شده بیش تر باشد، بار بیش تری تولید می شود. هنگامی که حرارت قطع شود، فلزها سرد می شوند و بارها از بین می روند، به اتصال این دو فلز ترمو کوپل می گویند. هنگامی که چندین ترمو کوپل به یک دیگر متصل شوند، یک ترموپیل (باتری حرارتی) به وجود می آید. از ترمو کوپل برای اندازه گیری درجه ای حرارت در کوره ها استفاده می شود.

### ۳-۴-۵- الکتروسیستمی حاصل از نور

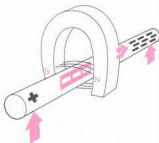
نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می آید. هنگامی که فوتون های یک شعاع نوری با



شکل ۹-۲-۱: اثر قوت الکتریک

## ۲-۶- الکتریسیته حاصل از مغناطیس

اغلب شما با آهن‌ریبا آشنا هستید و حتی با آن کار کرده‌اید. حتماً دیده‌اید که دو آهن‌ریبا در حالیکه یکدیگر را جذب و در



شکل ۹-۲-۲: الکترو مغناطیس

حالتی یکدیگر را دفع می‌کنند. علت این امر آن است که میدان‌های حاصل از آهن‌ریبا نیرویی دارند که بر یکدیگر اثر می‌کند. اگر یک سیم مسی را در میدان مغناطیسی حرکت دهیم، الکترون‌های داخل سیم آزاد می‌شوند و در سیم در یک جهت به حرکت در می‌آیند.

از نیروی میدان مغناطیسی برای حرکت الکترون‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. به این اثر، الکتریسیته مغناطیسی گفته می‌شود که اساس تولید الکتریسیته در ژنراتور الکتریکی است. هنگامی که یک هادی خوب به مانند مس به از یک میدان مغناطیسی بگذرانیم، میدان مغناطیسی آن‌قدر انرژی دارد که اتم‌های مس الکترون‌های والانتان را آزاد کند. حرکت این الکترون‌ها در جهت معینی خواهد بود و این جهت به چگونگی قطع میدان مغناطیسی به وسیله سیم بستگی دارد. در واقع، تنها حرکت دادن جسم هادی در داخل میدان ضروری نیست بلکه می‌توان با حرکت دادن میدان نیز همین اثر را بوجود آورد. تنها عامل لازم وجود حرکت نسبی بین جسم هادی و میدان مغناطیسی است (الکتریسیته مغناطیسی در فصل‌های بعدی کتاب با تفصیل بیشتری توضیح داده می‌شود).

## آزمایش ۱- تولید الکتریسیته در اثر حرارت (ترموالکترونیک)

یکی از روش‌های تولید الکتریسیته استفاده از انرژی گرمایی است. بدین منظور از دستگاهی به نام ترموکوپل استفاده می‌شود.

وسایل مورد نیاز: گالوانومتر، سیم از جنس گنستانان و مس، سیم‌های رابط، شمع یا چراغ الکلی. اجرای آزمایش: مدار مطابق شکل ۸-۹ می‌بینیم. دوسر سیم از جنس گنستانان را به دو انتهای سیم‌های مسی اتصال می‌دهیم و در انتهای دیگر، سیم مسی را به کمک سیم‌های رابط به گالوانومتر متصل می‌کنیم. در این حالت، عقربه‌ی گالوانومتر عبور جریان را نشان نمی‌دهد.



شکل ۸-۹

اگر یکی از نقاط اتصال را حرارت دهیم، می‌بینیم که عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود. اگر نقطه‌ی اتصال دیگر را حرارت دهیم، عقربه‌ی گالوانومتر در خلاف جهت حالت قبل منحرف خواهد شد. اگر دو نقطه‌ی اتصال را به‌طور هم‌زمان حرارت دهیم، انحراف عقربه چگوه است؟ چرا؟

### نتایج

افتد! اگر یک نقطه‌ی اتصال در دمایی متفاوت با نقطه‌ی اتصال دیگر باشد، بین این دو نقطه اختلاف پتانسیل ایجاد خواهد شد (ولتاژ ترموالکترونیک).

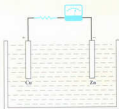
بما این نوع دستگاه ترموکوپل نامیده می‌شود و برای اندازه‌گیری دما به کار می‌رود.

بما با سیم‌هایی از جنس متفاوت نیز می‌توان به نتایج بالا رسید.

## آزمایش ۲- تولید الکتریسیته در اثر واکنش‌های شیمیایی

یکی از روش‌های تولید الکتریسیته، واکنش‌های شیمیایی است که به آن روش الکتروشیمی نیز می‌گویند. وسایل مورد نیاز: محلول اسیدسولفوریک و آب (الکترولیت)، نیمه‌هایی از جنس روی و مس، لیوان نبشده‌ای، سیم‌های رابط، گالوانومتر، مقاومت یک کیلو اهمی.

اجرای آزمایش: مدار مطابق شکل ۹-۹ تشکیل می‌دهیم. لیوان نبشده‌ای را از محلول اسیدسولفوریک تقریباً پر می‌کنیم و دو نیمه‌ی مسی و روی را پس از پاک کردن در محلول قرار می‌دهیم. مقاومت یک کیلو اهمی را به‌طور سری در مدار می‌بندیم. انحراف عقربه، وجود جریانی را در مدار نشان می‌دهد. با تغییر دادن ترتیب‌های گالوانومتر جهت جریان را می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۹-۲

### نتایج

القا با قرار دادن دو تپه از چسبی مس و روی در محلول اسید سولفوریک و آب می توان بین دوسر آن ها جریان مستقیم تولید کرد.

بیا تپدی مس قطب مثبت و تپدی روی قطب منفی منبع ولتاژ را تشکیل می دهد.

### آزمایش ۳- تولید الکتریسیته به وسیله ی مغناطیس

مهم ترین و بهترین روشی تولید انرژی الکتریکی، استفاده از میدان مغناطیسی است.

وسایل مورد نیاز: گالوانومتر، آهن ربای میله ای، سیم های رابط، بوبین (سیم پیچ).

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۹-۱۰ می بندیم. آهن ربای میله ای را از جهت قطب شمال در داخل بوبین حرکت می دهیم ؛ مشاهده می کنیم که عقربه ی گالوانومتر منحرف می شود. اگر آهن ربا را در جهت مخالف حرکت دهیم، انحراف عقربه در جهت مخالف حالت قبل صورت خواهد گرفت. آهن ربا را داخل بوبین سریع تر حرکت می دهیم و می بینیم که عقربه نیز سریع تر منحرف می شود.



شکل ۹-۱۰

### نتایج

القا با حرکت یک آهن ربای میله ای در داخل سیم پیچ و تغییر میدان مغناطیسی، نیروی محرک ای در سیم پیچ القا می شود.

بیا جهت نیروی محرک ای تولید شده به جهت میدان مغناطیسی بستگی دارد.

## خلاصه‌ی مطالب

« با وارد کردن نیرو یا دادن انرژی می‌توان الکترون‌ها را از مدارهایشان خارج کرد. روش‌های انجام این کار را به‌شش دسته تقسیم کرده‌اند که عبارت‌اند از: اثر تریو الکتریک، الکترولیس، پیزو الکتریک، اثر مو الکتریک، فوتو الکتریک و الکتریفیکاسیون.

اثر تریو الکتریک باعث می‌شود که الکترون‌های سطح یک جسم بر اثر عایش آزاد گردند. اثر اتصال الکتریون بر اثر اتصال انرژی تولید شده از اصطکاک است. در روش الکترولیس، ترکیب مواد شیمیایی با بعضی فلزات به واکنش‌هایی می‌انجامد که بر اثر آن الکترون‌ها انتقال می‌یابند و بار الکتریکی تولید می‌شود. « پیزو الکتریک اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی است، این اثر خود را بیش‌تر در کریستال‌ها نشان می‌دهد. اثر مو الکتریک اثر حرارت بر دو فلز ناشیاب است که به تولید بارهای مخالف در دو فلز منجر می‌شود. هنگامی که انرژی نوری به صورت فوتون با بعضی اجسام برخورد می‌کند، این اجسام الکترون آزاد می‌کنند.

« تشعشع نور انی، انرژی فوتون، الکترون‌های یک سطح را در لایه‌ی خازن‌طلبه می‌کند و سطح دیگری در لایه‌ی این الکترون‌ها را جمع‌آوری می‌کند. فوتو الکتریک، انرژی نور انی بر روی یکی از دو صفحه‌ی متصل شده باعث تخلیه‌ی الکترون به دیگری می‌شود. در نتیجه، دو صفحه مانند یک باتری عمل می‌کنند. هدایت نوری، چنانچه به بعضی اجسام انرژی نورانی بدهیم، به صورت‌های دیگری عمل خواهند کرد. الکتریفیکاسیون استفاده از اثر میدان مغناطیسی برای به حرکت درآوردن الکترون‌هاست.

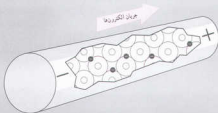
## پرسش

- ۱- چه عاملی باعث خارج شدن الکترون‌ها از مدارهایشان می‌شود؟
- ۲- اثر وارد شدن فشار به کریستال نمک روچل چیست؟
- ۳- اثر تریو الکتریک چیست؟
- ۴- در اثر مو الکتریک به محل اتصال دو فلز ..... حرارت داده می‌شود.
- ۵- تفاوت بین اثر موکوب و اثر روچل چیست؟
- ۶- فوتون چیست؟
- ۷- سه روش استفاده از فوتو الکتریک را نام ببرید و شرح دهید.
- ۸- آیا برای آزاد شدن الکترون از یک هادی، همیشه لازم است هادی را در داخل میدان مغناطیسی حرکت

دهیم؟

۹- باتری یا چل تر را شرح دهید و بگویید براساس کدام قانون کار می‌کند.

۱۰- زناتور الکتریکی براساس ..... کار می‌کند.





## الکتریسته‌ی جاری

هدف‌های وفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

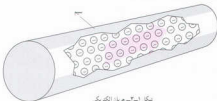
- ۱- چگونگی حرکت الکترون‌ها و مفهوم سرعت حرکت الکترون‌ها را بیان کند.
- ۲- مفهوم جریان الکتریکی و تفاوت میان سرعت الکترون‌ها و سرعت انتقال آن را شرح دهد.
- ۳- مفاهیم ولتاژ جریان را به‌دقت توضیح دهد و نمادهای قراردادی آن‌ها را مشخص کند.
- ۴- واحد کمیت‌های جریان و ولتاژ را تعریف کند.

### ۱-۳- جریان الکتریکی

در فصل اول در مورد الکتریسته و چگونگی تولید بارهای الکتریکی توضیح دادیم و گفتیم که الکتریسته‌ی ساکن در صنعت و زندگی روزمره کاربرد زیادی ندارد و برای این که بتوانیم از انرژی الکتریکی برای انجام کار استفاده کنیم، الکتریسته باید جاری باشد. این عمل وقتی صورت می‌گیرد که الکترون‌های

آزاد در جهت معینی به‌حرکت درآیند.

هنگامی که تعداد زیادی الکترون‌های آزاد در یک سیم در یک جهت حرکت کنند، می‌گوییم جریان الکتریکی از سیم عبور می‌کند.



شکل ۱-۳-۲- جریان الکتریکی

### ۲-۳- شدت جریان الکتریکی

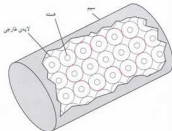
الکترون مقدار معینی انرژی دارد و می‌تواند اثرات خاصی را به‌وجود آورد. در حالت عادی، الکترون‌ها در جهات مختلفی حرکت می‌کنند و در نتیجه اثرات یک‌دیگر را خنثی می‌سازند ولی

هنگامی که در جهت معینی حرکت کنند، جریان الکتریکی از مدار عبور می‌کند. بنابراین، اثر الکترون‌ها با یک‌دیگر جمع می‌شود و انرژی آزاد شده می‌تواند کار انجام دهد. هرچه تعداد الکترون‌های

آزادی که در یک جهت حرکت می‌کنند، بیش‌تر باشند، شدت جریان بیش‌تر است و مقدار انرژی بیش‌تری برای انجام دادن کار خواهیم داشت.

## ۳-۳ پیوند (اتصال) فلزی

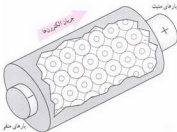
در یک سیم مسی هر یک از اتم‌ها یک الکترون والانس دارند که به طور ناپایدار در مدار نگاه داشته شده‌اند. این اتم‌ها آنقدر به هم نزدیک‌اند که حتی مدارهای خارجی آن‌ها با هم تداخل می‌کنند. هنگامی که الکترون‌های والانس حرکت می‌کنند، الکترون یکی از اتم‌ها ممکن است تحت تأثیر اتم دیگر واقع شود و در مداری به دور آن قرار گیرد. در همان زمان، الکترون اتم دوم نیز تغییر مکان می‌دهد و به مدار اولی وارد می‌شود. اغلب الکترون‌های مدارهای خارجی به طور مداوم ولی بدون ترتیب، مدارهایشان را عوض می‌کنند؛ یعنی، هیچ یک از الکترون‌های والانس مشخص یک اتم نیستند بلکه همگی اتم‌ها الکترون‌های والانسشان را به اشتراک می‌گذارند و بدون ترتیب به یک دیگر متصل می‌شوند. این گونه پیوند، پیوند فلزی نام دارد. بنابراین، الکترون‌های آزاد در یک سیم مسی به طور اتفاقی مدارهای خود را تغییر می‌دهند و این عمل مداوم است. بدین ترتیب، هر اتم همیشه یک الکترون دارد. در نتیجه، هیچ بار الکتریکی‌ای حاصل نمی‌شود ولی هادی مقدار زیادی الکترون آزاد دارد.



شکل ۳-۳ پیوند فلزی و الکترون آزاد

## ۳-۴ حرکت الکترون‌های جهت گرفته

برای این که جریان الکتریکی تولید شود، همگی الکترون‌های آزاد در سیم مسی باید در یک جهت حرکت کنند. این عمل را می‌توان با قرار دادن بارهای الکتریکی در ابتدا و انتهای سیم مسی انجام داد. بدین ترتیب یک بار منفی در یک سر، و بار مثبت در سر دیگر قرار گیرد.



شکل ۳-۴ حرکت الکترون‌ها

در شکل ۳-۴ الکترون‌های آزاد به وسیله بارهای منفی دفع و به وسیله بارهای مثبت جذب شده‌اند و در نتیجه، مدارهای آن‌ها عوض شده و به طرف بارهای مثبت جذب شده‌اند. بار الکتریکی الکترون‌ها منفی است؛ پس به وسیله بارهای منفی اصدالی دفع و به وسیله بارهای مثبت اصدالی جذب می‌شوند. به همین علت نمی‌توانند به مداری تغییر مکان دهند که باعث حرکت آن‌ها در خلاف جهت نیروی بارهای الکتریکی شود. در عوض، مدارهایشان را چنان تغییر می‌دهند که حرکتشان در جهت بار مثبت باشد. بدین لحاظ، جریان الکتریکی در جهت بار منفی به طرف بار مثبت و برقرار می‌شود.

در شکل ۳-۴ غلظت اتم‌ها در سیم مسی طوری است که مدارهای والانس هر اتم با اتم‌های دیگر تلاقی می‌کند و الکترون‌ها به راحتی می‌توانند از یک اتم به اتم دیگر تغییر مکان دهند. مسیری را که یک الکترون طی می‌کند، به جهت مدار الکترونی که الکترون در حرکتش به سوی بار مثبت به آن وارد می‌شود، پسنگی دارد.

همان طور که ملاحظه می‌کنید، هر الکترون یک مسیر مستقیم را طی نمی‌کند، هر چه بارهای اضافی در انتهای سیم پیش‌تر باشند، الکترون‌ها پیش‌تر کنترل می‌شوند و با سرعت زیادی در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند.

### ۳-۵- سرعت الکترون

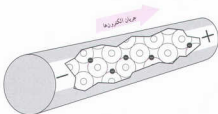
الکترون آزادی که تحت تأثیر بارهای الکترواستاتیکی به حرکت درمی‌آید، باید با نیروهای مداری انی مخالفت کند. در نتیجه، سرعت آن بسیار کم می‌شود و به حدود چند سانتی‌متر در ثانیه می‌رسد. این سرعت قابل تغییر است و به جنس هادی و تعداد بارهای الکتریکی اعمال شده به دو انتهای سیم بستگی دارد. اگر قرار بود که الکترون‌های آزاد در سیمی به طول ۳۰ کیلومتر حرکت کنند، پیش از ۳۰ روز طول می‌کشید اما می‌دانیم که جریان الکتریکی این مسافت را در کسری از ثانیه طی می‌کند.

### ۳-۶- ضربان‌های الکترونی

چون ام‌ها خیلی به هم نزدیک‌اند و مدارهایشان روی هم

قرار می‌گیرد؛ بنابراین، الکترونی که آزاد می‌شود، برای ورود به مدار تازه لازم نیست مسافت زیادی را طی کند. الکترون درست در لحظه‌ای که به مدار تازه وارد می‌شود، انرژی خود را به الکترون بعدی منتقل می‌کند تا آن را آزاد سازد. این عمل در آنی صورت می‌گیرد و هم‌ای الکترون‌ها نیز عیناً همین عمل را انجام می‌دهند. بدین ترتیب، با این که الکترون به آرامی حرکت می‌کند، امپالس با ضربان انرژی الکتریکی که در ام‌ها انتقال می‌یابد سرعت زیادی دارد که برابر ۲۹۹۳۹۰ کیلومتر در ثانیه است. به این الکترون‌های آزاد حامل‌های جریان می‌گویند.

ضربان انرژی الکتریکی در الکترون‌ها بسیار شبیه به انتقال ضربه در یک ردیف طولانی از گلوله‌های فیزی است. در شکل ۳-۵ هنگامی که در یک سر ردیف گلوله‌ها، ضربه‌ای به یک گلوله وارد شود، این نیروی ضربه‌ای به هر یک از گلوله‌ها انتقال می‌یابد تا این که گلوله‌ی آخر آزاد گردد. این عمل چنان به سرعت انجام می‌گیرد که تقریباً در همان لحظه‌ای که به گلوله‌ی اول ضربه زده می‌شود، گلوله‌ی آخر را می‌شود.



شکل ۳-۹- ضربان‌های الکترونی



شکل ۳-۱۰- انتقال ضربه در گلوله‌های فیزی

### ۳-۷ مدار کامل (بسته)

اگر یک بار منفی (طبق شکل ۳-۶) در یک انتهای سیمی قرار داده شود، این بار منفی الکترون‌های آزاد سیم را به سر دیگر سیم دفع می‌کند. حرکت الکترون‌های آزاد به جهت می‌گیرد و باعث عبور جریان الکتریکی می‌شود. این جریان تا زمانی ادامه خواهد یافت که به اندازه‌ی کافی الکترون در سر دیگر سیم جمع شود و باری برابر بار منفی داده شده در طرف دیگر تشکیل گردد و از آمدن الکترون‌های بیش‌تر جلوگیری کند. این الکتریسته‌ی ساکن است؛ زیرا پس از مدتی همه چیز به حالت سکون درمی‌آید.



شکل ۳-۶

برای این که جریان الکتریکی برقرار نشود، الکترون‌های آزاد باید به طور مداوم در جریان باشند، بدین لحاظ باید از منابع ولتاژ برای دادن بارهای مخالف به دو سر سیم استفاده شود. در این صورت، الکترون‌ها در قطب منفی سیم دفع شده و در طرف قطب مثبت به داخل منبع جذب می‌شوند. به ازای هر الکترونی که جذب منبع می‌شود، الکترون دیگری توسط طرف منفی منبع به سیم وارد می‌شود. در نتیجه، تا هنگامی که منبع ولتاژ تولید بار می‌کند، عبور جریان در سیم ادامه می‌یابد. چنین فرایندی یک مدار کامل (بسته) را تشکیل می‌دهد. باری یک نوع معمول منبع ولتاژ است، باتری‌این، برای این که جریان الکتریکی عبور کند، یک مدار بسته یا کامل لازم است. در شکل ۳-۷ برای ایجاد بارهای مختلف در دو سر سیم از یک باتری استفاده شده است.



شکل ۳-۷ مدار کامل

### ۳-۸ قرارداد

قبل از کشف حرکت الکترون‌ها (که منشأ جریان الکتریکی است) چنین تصور می‌شد که جریان از پتانسیل بیش‌تر (مثبت) به طرف پتانسیل کم‌تر (منفی) برقرار می‌شود. پس، جهت جریان از وی الکتریکی را نیز از قطب مثبت به طرف قطب منفی در نظر می‌گرفتند. اکنون ما با این که می‌دانیم حرکت الکترون‌ها از قطب منفی به طرف قطب مثبت است اما طبق همان قرارداد قدیمی در خارج از منبع، جهت جریان را از قطب مثبت به طرف قطب منفی در نظر می‌گیریم.

### ۳-۹ مدار باز

طبق شکل ۳-۸ اگر در یک مدار بسته سیم قطع نشود، الکترون‌ها در انتهای از سیم که به قطب منفی باتری متصل است، جمع می‌شوند و الکترون‌های آزاد انتهای دیگر سیم به قطب مثبت جذب می‌گردند؛ بنابراین، بین دو سر قطع شده‌ی اختلاف بار به وجود می‌آید که با اختلاف بار الکتریکی منبع برابر است. در نتیجه، جریانی از مدار عبور نمی‌کند. به چنین مدار، مدار باز می‌گویند.



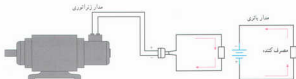
شکل ۳-۸ مدار باز

### ۳-۱۰ منابع ولتاژ

هر پنج نوع منبع ولتاژ که در فصل‌های پیش درباره‌ی آن‌ها سخن گفتیم، می‌تواند جریانی را در یک مدار برقرار کند. معمول‌ترین و مناسب‌ترین منابع ولتاژ، باتری و ژنراتور هستند.

باتری و مدار زئرانور را مشاهده می کنید.

برقی که در منزل از آن استفاده می کنیم، به وسیله ی زئرانوری که در نیروگاه نصب شده است، تولید می شود. در شکل ۳-۹ مدار



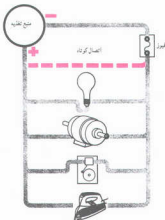
شکل ۳-۹ مدار الکتریکی منابع ولتاژ زئرانور و باتری

### ۳-۱۱ کاربرد الکتریسیته ی جاری

هنگامی که یک سیم هادی مستقیماً به دو ترمینال یک باتری یا زئرانور متصل می شود، مدار اتصال کوتاه ایجاد می گردد و جریان بیش تر از آن چه باتری یا زئرانور می تواند تغذیه کند، از سیم می گذرد. ممکن است باتری یا زئرانور بسوزد و سیم خیلی داغ شود. به همین دلیل، از فیوزهای محافظ استفاده می کنند، هنگامی که جریان زیادی از سیم عبور کند، این فیوزها ذوب می شوند و مدار باز می شود.

سیم را به دستگاه های دیگری وصل می کنند تا جریان را حمل کند و این دستگاه ها را به کار اندازد. برای مثال، یک رشته سیم جریان را حمل می کند تا فیلادلفیا لامپ گرم شود و نور به وجود آید یا انرژی الکتریکی لازم برای به راه افتادن موتور ناوین شود، زنگی به صدا درآید یا اتو گرم شود.

شکل ۳-۱۰ کاربردهای مختلف الکتریسیته ی جاری را نمایش می دهد.



شکل ۳-۱۰ کاربردهای الکتریسیته ی جاری

## ۱۲-۳- واحدهای کمیت‌های الکتریکی

رای برقراری جریان الکتریکی در یک مدار دو شرط لازم است:

الف) اختلاف بار الکتریکی منبع برای به حرکت درآوردن الکترون‌های آزاد؛

ب) وجود یک مدار بسته.

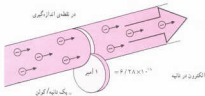
بار الکتریکی‌ای را که جسم دریافت می‌کند، پتانسیل الکتریکی می‌نامند؛ زیرا الکترون‌های جابه‌جا شده مقداری انرژی دارند که برای حرکت دادن الکترون‌های دیگر به کار می‌رود. از آن‌جا که برای ایجاد یک مدار کامل دو بار الکتریکی متفاوت لازم است، این اختلاف پتانسیل بین دو بار الکتریکی است که نیروی الکتریکی تولید می‌کند که مقدار بارها.

جدول ۳-۱

مگا ولت (MV)	کیلو ولت (kV)	ولت (V)	میلی ولت (mV)	میکرو ولت ( $\mu$ V)	
$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	=	میکرو ولت ( $\mu$ V)
$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	=	$10^{-3}$	میلی ولت (mV)
$10^{-6}$	$10^{-9}$	=	$10^{-9}$	$10^{-6}$	ولت (V)
$10^{-9}$	=	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-5}$	کیلو ولت (kV)
=	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-8}$	مگا ولت (MV)

مشخص بگردد. می‌گوییم شدت جریان عبوری  $I$  آمپر است. بنابراین تعریف، رابطه‌ی شدت جریان را می‌توان به صورت  $I = \frac{Q}{t}$  نشان داد که در آن  $Q$  مقدار الکتریسیته بر حسب کولن،  $t$  زمان بر حسب ثانیه و  $I$  شدت جریان بر حسب آمپر است. نام این واحد – یعنی آمپر – از نام یک فیزیک‌دان ایتالیایی قرن هجدهم به نام آندره ماری آمپر گرفته شده است. آمپر نیز دارای اجزا و اضافی است (مشابه ولت در جدول ۳-۱). شکل ۳-۱۱ تعریف آمپر را نشان می‌دهد.

بعضی از ولتاژهایی که معمولاً با آن‌ها سروکار خواهیم داشت: ۱) برای یک باتری چراغ قوه، ۱.۵ ولت برای باتری اتومبیل‌ها، ۲۲۰ ولت برای وسایل خانگی و ۳۸۰ ولت برای مصارف صنعتی. در واقع، ولتاژها از چند میکرو ولت (میلیونیم ولت) تا چند مگا ولت (میلیون ولت) موجودند. تبدیل اجزا و اضافات ولت در جدول ۳-۳ نمایش داده شده است. واحد اندازه‌گیری شدت جریان (آمپر) تعداد الکترون‌هایی که از یک نقطه‌ی مدار می‌گذرند، مقدار جریان عبوری از مدار را تعیین می‌کند. اگر از یک نقطه‌ی سیم در یک ثانیه ۱ کولن الکتریسیته ( $10^{-9} \times 2.8 \times 6$  الکترون) در جهت



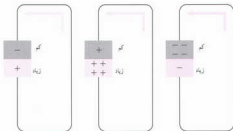
شکل ۱-۳-۱۱-۳ تعریف آمپر

بار منفی را باتنسیل کم و بار مثبت را باتنسیل زیاد در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی در یک سیم همیشه از طرف باتنسیل زیاد به طرف باتنسیل کم برقرار می‌شود. این بدان معناست که همیشه جریان الکتریکی از یک باتنسیل مثبت بیش‌تر به یک باتنسیل مثبت کم‌تر برقرار می‌شود. همین مطلب در مورد دو باتنسیل منفی نیز صدق می‌کند.

مثال: اگر  $12/56 \times 10^{-16}$  الکترون در مدت ۲ ثانیه در جهت مشخص از سیم بگذرد، شدت جریان عبوری از سیم چه قدر است؟

$$q = \frac{12/56 \times 10^{-16}}{2/TA \times 10^{-16}} = 7 \text{ کولن}$$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{7}{2} = 3.5$$



شکل ۱-۳-۱۲-۱ جهت جریان در یک مدار

William, 50, 6113

« پرونده‌های قضایی در اکثر سیستم‌ها اهمیت زیادی دارند. » « اکثریت‌های نامیده می‌آیند، اتم‌های خاص به طور نامحدود در مدارشان قرار گرفته‌اند و با نیروی کمی می‌توان آن‌ها را از مدار خارج و به مدار اتم دیگری وارد کرد. اکثریت‌های نامیده می‌آیند که از یک اتم به اتم دیگر می‌روند.

نور پس از گذشتن از شکاف، در جهت عمود بر سطح شکاف پراکنده می‌شود. چنانچه شکاف را بزرگتر کنیم، پراکندگی نور کمتر می‌شود و نور بیشتر در جهت عمود پراکنده می‌شود.

سرعت الکترون آزاد در حرکت نامرتب می‌تواند تا چندین صد کیلوولت در ثانیه باشد، تحت تأثیر نیروی محرک الکتریکی. این سرعت به مقدار چشمگیری کاهش می‌یابد، اگر چنانچه متوالی الکترون تحت تأثیر نیروی محرک الکتریکی کم است (الفاسی) به طریقی به ازای آن که از یک الکترون به الکترون دیگر منتقل می‌شود، در حدود ۳۹۹۳۳ کیلوولت در ثانیه است که سرعت انتقال الکترون در

از رنگ همدار چو پانی، عبور نمی‌کنند؛ دیگر این که مسیر گاهل یا همدار بسته باشد، در قیور این صورت، همدار با

برای حفاظت‌مدار در مقابل عبور جریان زیاد از فیوز استفاده می‌شود که به هنگام از هم جدا شدن قطع می‌کند.

خبر بان الکتریک کی ذریعہ پیغام بھیجیے کہ آپ انجیل زیادہ پڑھنا چاہتے ہیں۔ ایک ایک وقت ایک ایک

مقدار  $1.6 \times 10^{-18}$  إلكترون في الثانية، واحد شدت من يان إلكترون في الثانية

اگر در یک ثانیه از یک قطعه سیاه گویان الکترون پرتو در جهت مشخص عبور کند، شدت جریان عبوری<sup>۱</sup>

[illegible]

100

- ۱- جریان الکتریکی را تعریف کنید.
- ۲- یونان فیزی چیست؟
- ۳- آیا مدار الکترن‌های الیهایی مختلف در یک سیم با یکدیگر تداخل می‌کنند؟
- ۴- جریان الکترن‌ها چیست و چرا با سرعت الکترن تفاوت دارد؟
- ۵- چگونه می‌توان از عبور جریان زیاد در مدار جلوگیری می‌کنند؟
- ۶- آیا الکترن‌ها باعث تأثیر یک ولتاژ با سرعت نور از اتصالی اند دیگر می‌روند؟



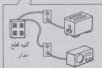
نور گاه بزرگ



بست نور و برق قدرت



محطت فشار فاه اعتراف



## مدار الکتریکی و اجزای آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

- ۱- یک مدار کامل الکتریکی را رسم کند.
- ۲- اجزای اصلی مدار الکتریکی را نام ببرد و وظیفه‌ی هر یک را توضیح دهد.
- ۳- منابع جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهد.
- ۴- عواملی را که باعث معیوب شدن مصرف‌کننده‌ی الکتریکی می‌شوند، توضیح دهد.

انرژی الکتریکی هنگامی کارآمد است که بتوان آن را عملاً مورد استفاده قرار داد. برای استفاده‌ی عملی از این انرژی، باید آن را مهار کرد یا به انواع دیگر انرژی‌ها تبدیل نمود. وسیله‌ی فیزیکی مناسب و لازم برای تبدیل انرژی الکتریکی و استفاده از آن، مدار الکتریکی نام دارد.

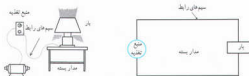
انرژی الکتریکی را به سایر انرژی‌ها تبدیل می‌کنند، باز نیز می‌گویند. برای این که جریان الکتریکی در یک مدار برقرار شود، لازم است مدار کاملی برای عبور جریان از قطب مثبت مولد به قطب منفی وجود داشته باشد. تشکیل این مدار با اتصال سیم‌های رابط قطب مثبت به بار الکتریکی موردنظر و از آن‌جا به قطب منفی منبع و لذا، عملی می‌شود. شکل ۴-۱ یک مدار کامل و بسته را نشان می‌دهد.

در صورتی که مدار در نقطه‌ای قطع شود، جریان الکتریکی

انرژی الکتریکی هنگامی کارآمد است که بتوان آن را عملاً مورد استفاده قرار داد. برای استفاده‌ی عملی از این انرژی، باید آن را مهار کرد یا به انواع دیگر انرژی‌ها تبدیل نمود. وسیله‌ی فیزیکی مناسب و لازم برای تبدیل انرژی الکتریکی و استفاده از آن، مدار الکتریکی نام دارد.

## ۴-۱ مدار الکتریکی

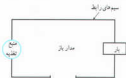
اجزای هر مدار الکتریکی به‌طور کلی عبارت‌اند از: ۱- منبع ولتاژ، ۲- سیم‌های رابط، ۳- مصرف‌کننده. به وسیله‌ای که



شکل ۴-۱- مدار بسته

برقرار نمی‌گردد. چنین مداري را در اصطلاح مدار باز می‌گویند.

شکل ۲-۹ مدار باز را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹-۳ مدار باز

## ۲-۴-۲ کلید

در صورتی که قصد استفاده از یک مصرف‌کننده ی الکتریکی را داشته باشیم، لازم است مدار بسته شود. در غیر این صورت، باید مدار را باز نگه داریم تا انرژی اتلاف نشود. قطع و وصل شدن مدار الکتریکی معمولاً توسط کلید انجام می‌گردد. طبق شکل ۲-۴-۳ به‌طور کلی کلید قطع و وصل از دو قطعه ی فلز هادی تشکیل شده است که در مسیر سیم‌های مدار قرار می‌گیرند، این دو فلز هادی طوری قرار گرفته‌اند که به سادگی به یکدیگر وصل یا از هم جدا می‌شوند. زمانی که این دو فلز به هم وصل می‌شوند، راه عبور جریان الکتریکی باز و به عبارت دیگر مدار تکمیل می‌شود. زمانی که این دو قطعه فلز از یکدیگر جدا هستند، راه عبور جریان الکتریکی بسته یا مدار باز می‌شود.



شکل ۲-۴-۹ انواع کلیدهای قطع و وصل

## ۲-۴-۳ بار الکتریکی

در یک مدار ساده، بار الکتریکی (مصرف‌کننده) وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به انرژی‌های دیگر تبدیل می‌کند. مصرف‌کننده ی (بار) الکتریکی ممکن است انرژی الکتریکی را به انرژی‌های نورانی، گرمایی یا صوتی تبدیل کند یا فقط برای مهار مقدار انرژی حاصل از مولد به کار رود.

لامپ معمولی یک بار الکتریکی است. وسایل دیگر مانند الکتروموتور و بخاری برقی نیز همگی مصرف‌کننده یا بار الکتریکی‌اند. هرکدام از بارهای الکتریکی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقدار معین و محدودی از انرژی تولید شده توسط مولد را جذب می‌کنند.

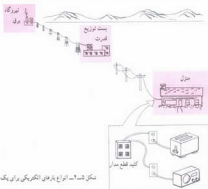


شکل ۲-۴-۳ مدار تکمیل کلید

امروزه انواع زیادی کلید الکتریکی وجود دارد و هر نوع دارای شمای قتی مربوط به خود است. شکل ۲-۴-۲ انواع کلیدهای قطع و وصل و شمای فنی آن‌ها را نمایش می‌دهد.

شکل ۵-۴ شمای کلی انواع بارهای الکتریکی برای یک خط انتقال انرژی را نمایش می‌دهد.

گاهی بار موجود در یک قسمت از مدار، منبع تغذیه‌ای برای قسمت‌های دیگر و در همان زمان پاری برای نیروگاه است.

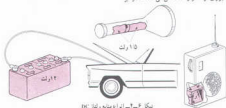


شکل ۵-۴- انواع بارهای الکتریکی برای یک خط انتقال انرژی

میزان ولتاژ منابع DC، مقدار ظرفیت الکتریسته‌ای (باتری) آن نیز داکر می‌شود که واحد آن آمپر ساعت است. در باتری‌های مختلف میزان ظرفیت متفاوت است. ولی جریان‌دهی و مدت زمان تخلیه‌ای منبع را از رابطه‌ای  $q = 1.1$  به آسانی می‌توان محاسبه کرد. در این رابطه،  $q$  ظرفیت باتری بر حسب آمپر ساعت،  $i$  شدت جریان بر حسب آمپر و  $t$  زمان بر حسب ساعت است. در شکل ۴-۴ انواع منابع ولتاژ DC را مشاهده می‌کنید.

#### ۴-۴- مولد (منبع ولتاژ)

منبع ولتاژ از راه‌های مختلف از جمله واکنش‌های شیمیایی و مغناطیسی انرژی الکتریکی تولید می‌کند. برای مصرف این انرژی بنایید به‌سبب فست‌های مولد اختلاف پتانسیل (ولتاژ) به‌وجود آید. ولتاژ را با واحدی به نام ولت اندازه‌گیری می‌کنند. قطب‌های یک منبع ولتاژ جهت جریان الکتریکی را تعیین می‌کنند و مقدار ولتاژ، میزان شدت جریان عبوری از مدار را مشخص می‌کند. علاوه بر



شکل ۴-۴- انواع منابع ولتاژ DC

## ۵-۴- منابع و مدار جریان مستقیم<sup>۱</sup> (DC)

به منابع ولتاژی که جهت جریان الکتریکی در مدار خارجی آن‌ها از قطب مثبت به طرف قطب منفی است، منابع ولتاژ مستقیم می‌گویند و مدار آن‌ها را مدار جریان مستقیم می‌نامند. برای سادگی جریان مستقیم را با علامت اختصاری DC نشان می‌دهند. از این پس از مولدهای DC، جریان DC، ولتاژ DC و مدار DC صحبت خواهیم کرد.

منابع تغذیه که اغلب در مدارهای جریان مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از: زئران‌های DC، منبع تغذیه، الکترونیک و باتری. صرف نظر از ساختمان داخلی مولدهای جریان مستقیم، عمل مدارهای جریان مستقیم یکسان است. شکل ۷-۹ منبع DC و مدار جریان مستقیم را به همراه بار نمایش می‌دهد.



شکل ۷-۹- مدار جریان مستقیم

## ۶-۴- منابع و مدار جریان متناوب<sup>۲</sup> (AC)

هنگامی که جهت (پلاریته یا قطب‌های یک مولد به‌طور متناوب تغییر کند، جهت جریان نیز به‌طور متناوب تغییر خواهد کرد. این نوع جریان را جریان متناوب می‌گویند و به اختصار، به صورت AC نمایش می‌دهند. ولتاژی که در منازل برای تغذیه‌ی وسایل خانگی و روشنایی از آن استفاده می‌شود، ولتاژ متناوب است.

شکل ۸-۹ منبع AC و مدار AC را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۹- مدار جریان متناوب

## ۷-۴- عواملی که شدت جریان الکتریکی را کنترل می‌کنند

مدارهای الکتریکی برای عبور مقدار معینی شدت جریان طراحی می‌شوند. بدین ترتیب، اگر جریان کسی از مدار عبور کند، مصرف کننده‌ی الکتریکی درست کار نخواهد کرد و اگر جریان زیادی از مدار عبور کند، ممکن است منبع ولتاژ و مصرف کننده صدمه ببینند. بنابراین، برای تعیین شدت جریان عبوری در مدار جریان مستقیم سه عامل را در نظر می‌گیرند: ۱- ولتاژ منبع، ۲- هدایت سیم‌های رابط و ۳- بار (مصرف کننده). مثلاً در مورد لامپ روشنایی اگر ولتاژ اعمالی به لامپ از میزان مجاز آن کمتر باشد، روشنایی لامپ ضعیف خواهد بود. در صورت زیاد بودن ولتاژ نیز، افزایش جریان عبوری در نهایت موجب سوختن آن می‌شود. این امر در مورد سایر مصرف کننده‌های الکتریکی از قبیل بخاری برقی و الکتروموتورها نیز صدق می‌کند. در صورتی که سیم‌های رابط دارای مقاطع استاندارد برای تغذیه مصرف کننده‌ها نباشند، در مدار اختلالی ایجاد می‌کنند که در فصل پنجم (مقاومت و هدایت سیم‌ها) به‌طور مفصّل درباره‌ی آن سخن خواهیم گفت.

شکل ۹-۹ انواع مصرف کننده‌های الکتریکی را در شرایط مختلف نشان می‌دهد.

ولتاژ مدار کم است.



لامپ روشنایی

تور لامپ کم است.

ولتاژ مدار زیاد است.

لامپ عمر کمی خواهد داشت.



آبوی برقی

حرارت (الست) کم است.



دریل برقی

دریل می‌سوزد. سرعت دریل نامرست است.

شکل ۹-۹- انواع مصرف کننده‌های الکتریکی با شرایط مختلف

<sup>۱</sup> DC=Direct Current

<sup>۲</sup> AC=Alternative Current

## خلاصه‌ی مطالب

- ۱- مدار الکتریکی وسیله‌ای فیزیکی برای تبدیل انرژی الکتریکی به سایر انرژی‌هاست.
- ۲- اجزای مدار الکتریکی عبارت‌اند از: ۱- منبع ولتاژ، ۲- سیم‌های رابط و ۳- مصرف‌کننده‌ی الکتریکی (بار).
- ۳- برای عبور جریان الکتریکی لازم است یک مسیر کامل برای عبور جریان از قطب مثبت منبع به طرف بار و سپس به قطب منفی منبع وجود داشته باشد. کلید وسیله‌ای برای قطع و وصل مدار است. کلید بسته به نوع جریان می‌تواند مسیر کلی را طی کند، در غیر این صورت، مدار باز است.
- ۴- منابع ولتاژ به طرق شیمیایی، مغناطیسی و ... انرژی الکتریکی تولید می‌کنند.
- ۵- منابع ولتاژ DC مانند باتری‌ها، منابع تغذیه‌ی الکتریکی یا ژنراتور DC صرف‌نظر از ساختار داخلی‌شان، در مدارهای یکسان عمل می‌کنند. مدارهای DC طوری طراحی می‌شوند که مقدار معینی از شدت جریان را از ورود عبور دهند.
- ۶- سه عامل، مقدار شدت جریان عبوری را در مدار کنترل می‌کند: ۱- ولتاژ منبع، ۲- جنس سیم‌های رابط و ۳- مشخصه‌ی بار الکتریکی.

## پرسش

- ۱- سه جزء اصلی یک مدار الکتریکی را نام ببرید.
- ۲- منظور از مدار باز و بسته چیست؟
- ۳- آیا می‌توان باتری را بار الکتریکی دانست؟ توضیح دهید.
- ۴- بین باتری، ژنراتور جریان مستقیم و یک منبع تغذیه‌ی الکتریکی چه وجه مشترکی وجود دارد؟
- ۵- شش عواملی که عبور شدت جریان را در مدار کنترل می‌کنند، کدام‌اند؟ نام ببرید.
- ۶- در صورت افزایش ولتاژ مصرف‌کننده، برای آن چه مشکلی پیش می‌آید؟
- ۷- منظور از بار الکتریکی چیست؟



مقاومت‌ها این‌ها را می‌توانند که  
مقاومت مدار را زیاد می‌کنند.  
آن‌ها از جوهری به هدایت کم و  
در اندازه‌ها و شکل‌های متنوع  
ساخته شده‌اند.



## هدایت و مقاومت الکتریکی

هدف های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش آموز انتظار می رود:

- ۱- مفهوم مقاومت الکتریکی را با مقاومت نرات گاز در حین حرکت در لوله مقایسه کند.
- ۲- واحد مقاومت الکتریکی را بر اساس مشخصات فیزیکی آن تعریف کند.
- ۳- مفهوم مقاومت مخصوص هادی را تعریف کند.
- ۴- رابطه ی پیدا کردن مقاومت الکتریکی هادی ها را بر حسب مشخصات فیزیکی  $R = \rho \frac{l}{A}$  بنویسد.
- ۵- واحدهای مربوط به هر یک از پارامترهای موجود در فرمول  $R = \rho \frac{l}{A}$  را بیان کند.
- ۶- با استفاده از فرمول  $R = \rho \frac{l}{A}$  مقاومت هادی های را که مشخصات آن ها داده می شود، حساب کند.
- ۷- چندگونگی تأثیر تغییرات دما بر مقاومت مخصوص و مقاومت چند عنصر رایج، در صنعت برق را توضیح دهد.
- ۸- ضریب حرارتی مخصوص را تعریف کند.
- ۹- رابطه ی ساده ی مربوط به تأثیر حرارت و مقاومت الکتریکی  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$  را بنویسد.
- ۱۰- با استفاده از فرمول  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$  مقاومت چند هادی رایج را بر حسب تغییرات دما محاسبه کند.
- ۱۱- انواع مقاومت های الکتریکی را از نظر جنس و ساخت نام ببرد و ساختمان هر یک را توضیح دهد.
- ۱۲- طبقه بندی مقاومت های الکتریکی را از نظر نوع کار بیان کند و کاربرد هر یک را شرح دهد.
- ۱۳- مقدار مقاومت الکتریکی مقاومت هایی را که در رنگی دارند، بخواند.

### ۱-۵- هدایت الکتریکی مخصوص

همه ی اجسام، جریان الکتریکی را به یک اندازه هدایت نمی کنند. همان طور که در فصل های قبلی نیز خواندید، دو دسته از اجسام در الکتریسیته اهمیت دارند: اجسام هادی و اجسام عایق. هادی ها اجسامی هستند که جریان را به راحتی عبور می دهند و عایق ها برعکس، از عبور جریان جلوگیری می کنند. علت این امر آن است که هادی ها مقدار زیادی الکترون آزاد دارند. اکثر فلزات هادی های خوبی هستند، البته همگی فلزات به یک اندازه

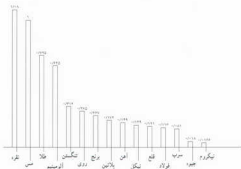
الکترون آزاد ندارند؛ به همین دلیل، عملکرد هادی ها نیز در مدارها مختلف است. اگر با یک منبع ولتاژ که ولتاژش ثابت باشد، میزان هدایت الکتریکی فلزات مختلف (همه با طول یک متر و سطح مقطع یک میلی متر مربع) را آزمایش کنیم، می بینیم فلزی که الکترون های آزاد بیشتری دارد، شدت جریان بیشتری را از خود عبور می دهد. نسبت شدت جریان عبوری از یک فلز به ولتاژ منبع را هدایت الکتریکی مخصوص آن فلز می گویند. پس،



قابلیت هدایت سیمنی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی متر مربع را هدایت مخصوص می‌نامند و آن را با حرف یونانی  $\kappa$  (کاپا) نمایش می‌دهند.

## ۵-۲- مقایسه‌ی هدایت مخصوص فلزات

فلزات الکتریکی دارای هدایت بسیار بالایی دارند. در مقایسه با سایر فلزات از هدایت مخصوص بیش‌تری برخوردار است.



نمودار ۱- استل مقایسه‌ی هدایت مخصوص فلزات مختلف

جریان الکتریکی بیش‌تری را عبور می‌دهد. با همین استدلال، هدایت مخصوص کوچک‌تر نمایان‌گر آن است که جریان الکتریکی به سختی از جسم عبور می‌کند. به عبارت دیگر، اجسام با هدایت مخصوص کم در مقابل عبور جریان، مقاومت یا مخالفت زیادتری می‌کنند و طبیعتاً بعضی مواد نسبت به مواد دیگر مقاومت بیش‌تری دارند. در واقع، هدایت مخصوص و مقاومت مخصوص در برابر عبور جریان دو مفهوم مخالف یکدیگرند که در مورد یک ماده همیشه وجود دارند. در واقع، آن‌ها در روی یک سکه‌اند که نمی‌توانند جدا از هم وجود داشته باشند. هر جسمی که هدایت مخصوص آن زیاد باشد، مقاومت مخصوصش کم است و برعکس.

تقریباً اگر هدایت مخصوص مس ۵۶ باشد، هدایت مخصوص آلومینیم چه قدر است؟

$$\frac{\kappa_{Al}}{\kappa_{Cu}} = 0.6125 \Rightarrow \frac{\kappa_{Al}}{56} = 0.6125$$

$$\Rightarrow \kappa_{Al} = 56 \times 0.6125$$

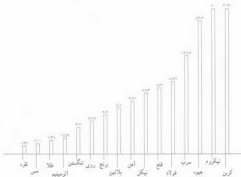
$$\boxed{\kappa_{Al} = 35}$$

## ۵-۳- مقاومت الکتریکی مخصوص

هدایت مخصوص نشانگر سهولت عبور جریان الکتریکی از یک جسم است. هرچه هدایت مخصوص بیش‌تر باشد، جسم

#### ۴-۵-۵ مقایسه‌ی مقاومت مخصوص فلزات

دیدیم که هدایت مخصوص فلزات مختلف طبق نمودار آند نسبت به مس متعده می‌شود. همین کار را در مورد مقاومت مخصوص نیز می‌توان انجام داد. نمودار آند مقاومت مخصوص نسبی سایر فلزات را نسبت به فلز مس نمایش می‌دهد.

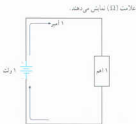


نمودار آند مقاومت مخصوص نسبی سایر فلزات نسبت به مس

#### ۵-۵-۵ واحد مقاومت

در حدود سال‌های ۱۸۰۰ یک دانشمند آلمانی به نام گئورگ سیمن اهم آزمایش‌هایی در مورد مدارها و هادی‌ها انجام داد و نکات مهمی را در مورد هدایت مقاومت الکتریکی کشف کرد. برای قدردانی از این شخص، واحد مقاومت به نام او اهم نامیده شده است.

یک اهم مقاومت هادی‌ای است که تحت اختلاف پتانسیل یک ولت، شدت جریانی معادل یک آمپر از آن عبور کند. در صورتی که با ولتاژ ۱ ولت شدت جریان عبوری نیم‌آمپر شود، مقاومت دو برابر حالت قبل - یعنی دو اهم - خواهد بود، یا استفاده از این نسبت، مقاومت مطلق همه‌ی هادی‌ها - در هر اندازه و شکلی که باشند - قابل محاسبه است. واحد مقاومت را با



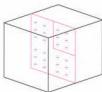
شکل آند تعریف اهم

## ۵-۶ مقاومت الکتریکی

عبور جریان الکتریکی از هادی‌ها از بسیاری جهات شبیه عبور گاز از یک لوله است. اگر این لوله بر از پشم فلزی یا مادی متخلخل باشد، این شباهت بیش‌تر می‌شود. اتم‌های تشکیل دهنده ی سیم هادی از عبور الکترون‌ها جلوگیری می‌کنند و همدان‌طور که ایالت پشم فلزی مانع عبور مولکول‌های گاز می‌شوند. حال می‌توانیم ببینیم که مقاومت هادی‌ها به غیر از جنس فلز به چه عوامل دیگری بستگی دارد.

**تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی:** مقاومت هر جسمی به تعداد الکترون‌های آزاد آن بستگی دارد. مثالی را که پیش از این گفته‌ایم، به خاطر بیاورید. واحد شدت جریان الکتریکی آمپر است. یک آمپر یعنی این که  $6.28 \times 10^{18}$  الکترون آزاد در هر ثانیه از هر نقطه‌ی سیم عبور می‌کند. پس یک هادی

نقطه‌ی اندازه‌گیری جریان



شکل ۵-۶ تأثیر سطح مقطع بر مقاومت



شکل ۵-۶ تغییرات مقاومت بر حسب سطح مقطع هادی

بنابراین، طبق شکل ۵-۶ هرگاه پهنای فلز افزایش یابد، در حقیقت سطح مقطع زیادتر و در نتیجه، مقاومت کم‌تر می‌شود. نمودار ۵-۶ تغییرات مقاومت نسبت به سطح مقطع هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کم‌تر می‌شود.

غوب باید به مقدار کافی الکترون آزاد داشته باشند تا جریان الکتریکی با چنین آمپر بتواند از آن عبور کند. مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد؛ بنابراین، با مضطرب کردن سیم می‌توانیم تعداد الکترون‌های آزاد را بیش‌تر کنیم تا مقدار بیش‌تری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

یک قطعه مس به ارتفاع ۲ و عرض ۱ سانتی‌متر در محل اندازه‌گیری جریان الکتریکی دو برابر قطعه مسی به ارتفاع ۱ و عرض ۱ سانتی‌متر الکترون‌های آزاد قابل دسترسی دارد. پس مس به ارتفاع دو برابر، دوبرابر بیش‌تر جریان را هدایت می‌کند. چنان‌چه پهنای قطعه مسی که به کار می‌رود دو برابر باشد، قابلیت هدایت آن دو برابر و مقاومت آن نصف می‌شود.

تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی: با افزایش سطح مقطع یک هادی، در واقع مقدار بیشتری الکترون آزاد برای عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌شود و مقاومت هادی کاهش می‌یابد. شاید تصور کنید که با افزایش طول هادی عبور جریان راحت‌تر می‌شود ولی چنین نیست. اگر چه در یک قطعه مس به‌اندازه تعداد بیشتری الکترون آزاد وجود دارد ولی الکترون‌های آزاد اضافی در طول سیم، در اندازه‌گیری جریان الکتریکی داخل نمی‌شوند. در واقع هر طول معین از هادی، مقدار معینی مقاومت دارد و هر چه سیم طول‌تر باشد، مقاومت آن نیز بیشتر است.



شکل ۳-۱: تأثیر طول هادی بر مقاومت

نمودار ۳-۱: تغییرات مقاومت برحسب طول هادی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر طول هادی زیاد شود، مقاومت افزایش می‌یابد.



نمودار ۳-۲: تغییرات مقاومت به طول سیم

را به‌طوری کلی مقاومت الکتریکی هادی: همان‌طور که قبلاً گفتیم، اگر طول یک سیم (l) را زیاد کنیم، مقاومت آن زیاد می‌شود و برعکس، اگر طول سیم را کم کنیم، مقاومت آن کم می‌شود. طبق شکل ۳-۲ اگر طول سیم را مثلاً دو برابر کنیم، مقاومت آن را دو برابر کرده‌ایم. پس مقاومت یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد.



شکل ۳-۳: اثر افزایش طول

هم‌چنین می‌توان با ابقاء کردن سطح مقطع (A) مقاومت را کم کرد و با کم کردن سطح مقطع بر مقاومت افزود. طبق شکل ۳-۳ اگر سطح مقطع سیم را دو برابر کنیم، مقاومت آن نصف می‌شود. در نتیجه می‌گوییم مقاومت با سطح مقطع نسبت عکس دارد.



شکل ۳-۴: اثر افزایش سطح مقطع

حال اگر طبق شکل ۳-۴ طول دو برابر و سطح مقطع دو برابر شود، مقاومت الکتریکی نسبت به وضعیت قبلی تغییر نخواهد کرد.



شکل ۳-۵: اثر افزایش طول و سطح مقطع به میزان دو برابر مقاومت را تغییر نمی‌دهد.

$$R = \frac{1}{\kappa \cdot A} \Rightarrow 1 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{25 \times 1/5} \Rightarrow 1 = 1 \cdot 10^{-3} \times 25 \times 1/5$$

$$l = 57.5 \text{ m}$$

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی، در واقع، آن‌جبهه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. اما در دمای کمتر یا بیشتر، مقدار مقاومت کلیدی فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است؛ بنابراین، باید برای هر فلز ضریبی را تعریف کرد که آن را ضریب حرارتی می‌نامند. تغییرات مقاومت به ازای یک درجه‌ی سانی گراد را، ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با  $(\alpha)$  نمایش می‌دهند. برای مثال اگر  $\alpha = 0.004$  باشد، یعنی این که مقاومت آن جسم به ازای یک درجه‌ی سانی گراد  $0.004 \times 100$  اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  منفی خواهد بود. در مورد اول، فلز را PTC و در مورد دوم NTC می‌نامند.

بنابراین، مقاومت یک جسم در اثر افزایش حرارت چنین خواهد شد:

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha t$$

ضریب حرارتی مثبت



درجه حرارت

ضریب حرارتی منفی



درجه حرارت

نمودار فاصله اجسام با ضریب حرارتی مثبت و منفی

فاکتور بگیریم، خواهیم داشت:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

مثال ۳- مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه‌ی سانی گراد  $100$  اهم است. اگر دمای سیم به  $250$  درجه‌ی

پیش از این در تعریف مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص گفتیم که این پارامترها به جنس هادی بستگی دارند؛ بنابراین، رابطه‌ی کلی مقاومت با سطح مقطع، طول و جنس سیم را با فرمول‌های زیر نشان می‌دهد.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{و} \quad R = \frac{l}{\kappa \cdot A}$$

در این رابطه،  $R$  مقاومت سیم بر حسب  $\Omega$ ، طول سیم بر حسب متر،  $A$  سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع و  $\rho$  مقاومت مخصوص بر حسب  $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$  و  $\kappa$  هدایت مخصوص بر حسب  $\frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$  است.

مثال ۱- سیم مسی به طول  $112$  متر به سطح مقطع  $1 \text{ mm}^2$  و هدایت مخصوص  $\kappa = 59$  مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot A} = \frac{112}{59 \times 1} = 0.00189 \rightarrow R = 0.00189 \Omega$$

مثال ۲- برای ساختن یک مقاومت الکتریکی  $10$  اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح مقطع  $1/5 \text{ mm}^2$  مورد نیاز است. در صورتی که  $\kappa_{Al} = 35$  باشد.

مانندتیز گزارد، پس، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود!

$$\alpha = 0.007 \times 25$$

$$R_0 = R_0(1 + \alpha\Delta T) = 10 \times (1 + 0.007 \times 25) =$$

$$R_0 = 10.175 \Omega$$

در صورتی که دمای مقاومتی در ۱۰ درجه  $R_0$  اهم باشد، برای محاسبه مقاومت آن در ۲۵ درجه به این ترتیب عمل می‌کنیم:

$$\textcircled{1} \quad R_1 = R_0(1 + \alpha\Delta T_1)$$

$$\textcircled{2} \quad R_2 = R_1(1 + \alpha\Delta T_2)$$

اگر دو رابطه ۱ و ۲ را بر هم تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha\Delta T_2}{1 + \alpha\Delta T_1}$$

مثال ۴- مقاومت سیمی در  $25^\circ\text{C}$ ،  $11 \Omega$  است. اگر

دمای سیم به  $75^\circ\text{C}$  برسد، مقاومت آن چه قدر می‌شود؟

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha\Delta T_2}{1 + \alpha\Delta T_1} \Rightarrow \frac{11}{R_1} = \frac{1 + 0.007 \times 25}{1 + 0.007 \times 75} = \frac{1.175}{1.525}$$

$$R_1 = \frac{11 \times 1.525}{1.175} \Rightarrow R_1 = 14.5 \Omega$$

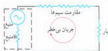
## ۷- مقاومت‌های الکتریکی یک مدار

فرض کنید که یک بار الکتریکی را به یک منبع ولتاژ وصل کرده‌ایم. گاهی ممکن است جریانی بیش از حد در مدار جاری شود. زمانی این اتفاق می‌افتد که مقاومت بار الکتریکی خیلی کم یا ولتاژ خروجی منبع خیلی زیاد باشد. شدت جریان را با کم کردن ولتاژ منبع می‌توان کم کرد اما معمولاً این کار ممکن نیست. بنابراین تنها راه این است که مقاومتی به مدار اضافه کنیم تا جریان را کم کند.



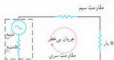
شکل ۴- مقاومت‌های مدار

این کار را می‌توان با اضافه کردن مقاومت به بار الکتریکی یا منبع یا سیم‌های رابط انجام داد اما از طرفی، مقاومت‌های بار الکتریکی و منابع ولتاژ برحسب شرایطی تنظیم شده‌اند و نمی‌توان آن‌ها را تغییر داد. پس تنها راه، تغییر مقاومت سیم‌های رابط است و سیم مقاومت این سیم‌ها آن قدر کم است که نباید حدود چندین کیلو متر سیم لازم باشد تا مقاومت چند صد اهم به مدار اضافه شود. البته می‌توان از سیم‌هایی با مقاومت زیاد نیز استفاده کرد. در گذشته در بعضی موارد این کار را انجام می‌دادند ولی چون لازمی آن استفاده از انواع مختلف سیم‌های رابط است، این کار غیر ممکن است.



شکل ۵- اضافه کردن مقاومت سیم‌های رابط

بنابراین، برای رفع این مشکل باید روشی را به کار بگیریم که به آسانی بتوانیم هر مقدار مقاومت دلخواه را به مدار اضافه کنیم؛ بدون این که در اندازه‌های مدارمان تغییرات عمدی یا به هم با مولدمان را عوض کنیم. مقاومت‌ها، عناصر مداری الکتریکی کوچکی هستند که برای دست‌یابی به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۶- افزودن مقاومت به مدار

## ۸- کاربرد مقاومت‌های الکتریکی

مقاومت‌های اهمی برای اضافه کردن مقاومت به مدارهای الکتریکی به کار می‌روند. در حقیقت، آن‌ها اجسامی هستند که در مقابل عبور جریان مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. موادی

معمولاً در کارخانه‌ها به روش «تولید انبوه» (mass production) می‌سازند و مانند تمام تولیداتی که به این روش ساخته می‌شوند، خطاهایی در آن‌ها روی می‌دهد. برای به حساب آوردن این خطا، تجربه خطا (تراش) را نیز در روی مقاومت مشخص می‌کنند.



شکل ۱۱-۱۱: تراش مقاومت‌های مختلف

تراش یک مقاومت معمولاً به صورت درصد نوشته می‌شود و نشان می‌دهد که مقدار واقعی مقاومت‌ها تا چه مقدار بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار نامی آن‌هاست؛ مثلاً، مقاومتی به مقدار نامی ۱۰۰ اهم و تقریب خطای ۱۰ درصد مقاومتی بین ۹۰ تا ۱۱۰ اهم خواهد داشت. تراش اکثر مقاومت‌ها معمولاً ۱۰، ۵ یا ۲۰ درصد است. هر چه تراش مقاومت کمتر باشد، مقاومت بهتر و قیمت آن بیش‌تر است.

**جریان مجاز:** وقتی که جریان الکتریکی از سیمی عبور می‌کند، سیم گرم می‌شود. علت این امر مقاومت سیم‌هاست. هر چه این مقاومت بیش‌تر باشد، گرمای بیش‌تری تولید می‌شود. در یک مقاومت، مواد تشکیل دهنده در حجم کوچکی متمرکز شده‌اند؛ بنابراین، حرارت تولید شده توسط جریان الکتریکی نیز در مساحت کوچکی تولید می‌شود. در نتیجه، این مقاومت در اتصال با مدار ممکن است خیلی گرم شود. مقاومت یا باید بتواند گرمای تولید شده را دفع کند، یا آن را به هوای اطراف انتقال

دهد. غالباً در مقاومت‌ها به کار می‌روند عبارت‌اند از گرین، آلیاز مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم، کستاتین و متگالان. مقاومت اهمی را طوری به مدار می‌بندیم که جریان همان‌طور که از بار الکتریکی و منبع ولتاژ عبور می‌کند، از آن هم بگذرد. در این صورت، مقاومت کل مدار مجموع مقاومت‌های بار الکتریکی، منبع ولتاژ، سیم‌های رابط و مقاومت اهمی است. توجه داشته باشید که فقط با اضافه کردن یک مقاومت اهمی مناسب به مدار می‌توان مقاومت کل مدار را به اندازه‌ی دلخواه تغییر داد.



مقاومت‌ها اجزائی هستند که

مقاومت مدار را زیاد می‌کنند.

آن‌ها از حرارتی یا هدایت کم و در

اندازه‌های شکل‌های متشخص ساخته

شده‌اند.



شکل ۱۰-۱۰: انواع مقاومت‌ها

## ۹-۱۰: مقادیری که روی مقاومت‌ها می‌نویسند

روی مقاومت‌های الکتریکی علاوه بر میزان مقاومت، مقادیر تراش و جریان مجاز نیز نوشته می‌شود.

**تراش (میزان خطای مجاز):** مشخصه‌ی اصلی هر مقاومت، مقدار اهم مقاومتی است که دارد و به آن مقدار مقاومت می‌گویند. معمولاً این مقدار بر روی مقاومت نوشته شده و مقدار نامی آن است. مقدار حقیقی ممکن است کمی بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار نامی باشد. علت این امر آن است که مقاومت‌ها را

دهد. در این صورت، مقاومت صدمه می بیند یا از بین می رود. حتی اگر گرما آن قدر نباشد که به مقاومت صدمه زند، در مقاومت آن تأثیر زیادی خواهد داشت. زیرا همان طور که می دانید، مقاومت کلیه ی اجسام با تغییر دما، تغییر می کند. هر مقاومتی یک جریان ماکزیمم حد دارد. پس، نباید آن را

در مداری که بیش از آن مقدار ماکزیمم در آن جریان الکتریکی جاری است، به کار گرفت. در غیر این صورت، ممکن است مقاومت بسوزد. این میزان جریان در هر مقاومت به صورت میزان توانی به آن داده می شود.



شکل ۹۲: سبب جریان مجاز مقاومت ها

## ۹۰- انواع مقاومت های الکتریکی

با توجه به مطالبی که تاکنون در مورد مقاومت ها خوانده اید، ممکن است فکر کنید که انتخاب یک مقاومت مناسب برای مدار کار آسانی است و تنها با در نظر گرفتن مقدار نامی مقاومت و تقریب خطای آن و مقدار جریان مجاز، می توانید آن را انتخاب کنید. اگر چه این مقدار اهمیت دارند ولی نکات دیگری را نیز باید در نظر گرفت. از قبیل قیمت، استقامت، روش نصب و میزان تأثیر حرارت. بنابراین، با در نظر گرفتن همه ی این نکات باید مقاومت مناسب را انتخاب کرد.

مقاومت ها از نظر جنس و ساخت به سه دسته ی کلی زیر تقسیم می شوند:

- مقاومت های ترکیبی
- مقاومت های سیم پیچی
- مقاومت های لایه ی

**مقاومت های ترکیبی:** در اغلب مواقع، کیفیت یک مقاومت نسبت به ارزش اقتصادی آن در درجه ی دوم اهمیت قرار می گیرد. در این گونه موارد از مقاومت های ترکیبی استفاده می کنند. اکثر مقاومت های ترکیبی اساساً شامل ایمان مقاومتی پودر کربن، بنده ی استوانه ای کاترچویی برای پوشاندن و محافظت

کردن آن و سیم های دو سر مقاومت برای اتصال مقاومت به مدار هستند.

همان طور که در نمودار ۹۳ دیده اید، مقاومت معادل ۲۰۴۰ برابر می است. بنابراین، تنها مقدار کمی کربن مقاومت زیادی تولید می کند. پودر کربن یا جسم مشابهی مخلوط می شود. در نتیجه، مقدار مقاومت به نسبت کربن و الواف استفاده شده، بستگی دارد.

برای تولید مقاومت های کم تر از ۱۰ اهم یا بیش از ۲۰ میلیون اهم (۲۰MΩ) و با تقریب ۵، ۱۰، ۲۰ درصد آن ها می توانند جریان های زیاد را بدون گرم شدن اشغال دهند. بنابراین، ضربه ی حرارتی بالایی دارند. مجلسن این مقاومت ها کوچک بودن جبهه، ضخامت (بخت) بودن و قیمت کم است. عموماً مقاومت های ترکیبی در مواردی که با شدت جریان های زیاد و تقریب خوب سروکار نداریم، به کار می رود.



شکل ۹۳: سبب مقاومت ترکیبی





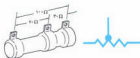
وجود دارد. در این طبقه‌بندی، مقاومت‌ها را از نظر نوع کار به دو دسته تقسیم می‌کنند: مقاومت‌های ثابت، مقاومت‌های متغیر.

**۱- مقاومت‌های ثابت:** مقاومت‌های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است. وقتی این مقاومت‌ها در مدار قرار بگیرند، مقاومت آن‌ها به مدار اضافه می‌شود. معمولاً مقاومت‌های ثابت مقدار مقاومت معینی دارند. ولی بعضی از آن‌ها دارای مقاومت‌های متفاوتی هستند. این مقاومت‌ها به دو دسته ی ثابت، مقاومت‌های زیاده‌دار و ب- مقاومت‌های قابل تنظیم تقسیم می‌شوند.



شکل ۱۴- ثابت مقاومت ثابت

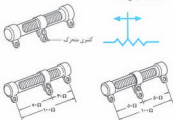
**الف- مقاومت‌های زیاده‌دار:** در این نوع مقاومت‌ها معمولاً علاوه بر دو سیم انتهایی، سر سیم‌های دیگری نیز بین دو سر مقاومت وجود دارد. با اتصال ترمینال‌های مختلف به مدار، مقاومت‌های متفاوتی حاصل می‌شود. هر یک از این مقاومت‌ها خود به تنهایی مقاومت ثابتی هستند. این نوع مقاومت‌ها را مقاومت‌های زیاده‌دار نیز می‌نامند.



شکل ۱۵- ثابت مقاومت ثابت زیاده‌دار

**ب- مقاومت‌های قابل تنظیم:** دیدیم که مقاومت‌های ثابت به هیچ‌وجه قابلیت اعطاف ندارند؛ زیرا مقاومتشان کاملاً تعیین شده و مقدار آن تغییر ناپذیر است. مقاومت‌های زیاده‌دار تا حدودی قابلیت اعطاف دارند؛ چون پیش از یک مقدار مقاومت می‌توان از آن‌ها به دست آورد. یا وجود این، تعداد مقاومت‌هایی را که می‌توان از آن‌ها به دست آورد به ۳ یا ۴ محدود می‌شود.

آن‌چه اغلب مورد نیاز است، مقاومتی است که به وسیله آن بتوان حدود معینی از مقاومت را از صفر تا یک مقدار حداکثر به دست آورد؛ وای مثال، مقاومتی که بتوان آن را برای هر مقدار بین صفر و ۱۰۰ اهم یا صفر و ۲۵ اهم تنظیم کرد. مقاومتی که این اعطاف‌پذیری را دارد، مقاومت قابل تنظیم است. مقاومت قابل تنظیم مشابه مقاومت ثابت زیاده‌دار سیم‌بچی شده است؛ با این تفاوت که مقداری از سیم‌بچی با تمام آن در مسیر جریان قرار گرفته است. یک کشوی متحرک و ترمینال متصل به آن در تمام طول سیم‌بچی حرکت می‌کند. مقاومت بین ترمینال متحرک و هر یک از ترمینال‌های انتهایی، به وضعیت کشوی متحرک بستگی دارد. این مقاومت‌ها طوری ساخته نشده‌اند که بتوان آن‌ها را پوسته تغییر داد. در واقع، هنگام نصب این مقاومت‌ها در مدار، آن‌ها را روی مقاومت دلخواه تنظیم کرده و سپس با همان مقاومت در مدار کار می‌کنند.



شکل ۱۶- ثابت مقاومت‌های قابل تنظیم

**۲- مقاومت‌های متغیر:** در بسیاری از وسایل الکتریکی، مقدار بعضی از مقاومت‌ها باید پوسته تغییر کند؛ بیج ولوم رادیو، کنترل کشندهی روشنایی تلویزیون، تنظیم کشندهی نور چراغ الکتریکی یا کنترل کشندهی سرعت موتور از آن جمله‌اند. بدین ترتیب، در این وسایل نمی‌توان از مقاومت‌های قابل تنظیم استفاده کرد؛ زیرا استفاده از آن‌ها مشکل و وقت‌گیر است. در این موارد مقاومت‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در محدوده‌ی معینی از مقاومت‌ها به طور پوسته قابل تغییرند و این کار در آن‌ها به‌آسانی

هتنگامی که هر سه ترمینال مقاومت متغیر به مدار متصل اند، این مقاومت متغیر پتانسیومتر نام دارد. پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۱۲- مدار پتانسیومتر

## ۱۲- شناسایی مقاومت‌ها از روی نوار رنگی

مقدار مقاومت همدی مقاومت‌ها به نحوی روی آن‌ها نوشته می شود. در میانه ترین حالت، مقدار مقاومت را بر روی بدنه ی مقاومت می نویسند ۱ برای مثال، ۵۰ اهم یا ۵۰۰ اهم. این روش در مورد مقاومت‌های بزرگ قدرت یا مقاومت‌های دقیق و مقاومت‌های متغیر نیز به کار می رود ولی در مورد مقاومت‌های ثابت کوچک و ترکیبی، غیر عملی است. این نوع مقاومت‌ها اغلب آنقدر کوچک اند که عدد نویسی بر روی آن‌ها غیر ممکن است. هم چنین، آن‌ها معمولاً توله ای شکل اند و سهم‌های رابط محوری دارند و به همین دلیل، به هر وضعیتی در مدار قرار می گیرند.



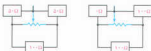
شکل ۱۳- تعیین مقاومت‌ها با استفاده از کد رنگی

بنابر این، ممکن است قسمت نوشته شده ی آن‌ها دور از دید قرار گیرد و غیر قابل خواندن باشند. البته می توان اعداد را در تمام نقاط مقاومت نوشت ولی این کار نیز بسیار بر طرح است. این مشکل با استفاده از نوارهای رنگی نشانگر مقدار مقاومت برآحتی

انجام می گیرد. مقاومت‌هایی که این کار را انجام می دهند، مقاومت‌های متغیر نامید، می شوند. معمولاً یک مقاومت متغیر از المان مقاومی دوار که درون محفظه ای قرار گرفته، تشکیل شده است. این المان مقاومی ممکن است به صورت سیم پیچی، ترکیبی و لایه ای باشد. یک کشاکش متحرک نیز بر روی این مقاومت حرکت می کند و در نتیجه، اتصال الکتریکی با آن برقرار می شود.



شکل ۱۴- مدار مقاومت متغیر



شکل ۱۵- نمایش مقاومت متغیر

کشاکش متحرک به وسیله ی یک محور گردان بر روی المان مقاومی می گردد. مقاومت بین کشاکش متحرک و انتهای المان مقاومت، به وضعیت میله نسبت به محور بستگی دارد. هرگاه یک انتهای المان مقاومی و کشاکش متحرک به ترمینال‌های خارجی متصل باشند، این مقاومت متغیر را و نوسان می نامند. و نوسان برای تغییر جریان به کار می رود.

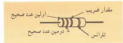


شکل ۱۶- مدار نوسان

حل می‌شود. وضعیت و رنگ نوارها مقدار مقاومت را به خوبی نشان می‌دهد.

## ۱۳- شال نخودی تعیین مقدار مقاومت‌ها از روی کد رنگی

اولین رقم صحیح: رنگ اولین نوار، نشان‌دهنده‌ی اولین رقم صحیح مقدار مقاومت است؛ برای مثال، با استفاده از جدول ۱ است. اگر اولین رنگ زرد باشد، اولین رقم صحیح مقدار مقاومت ۴ است.



شکل ۲۱- شال نخودی تعیین مقاومت از روی نوار رنگی

دومین رقم صحیح: رنگ نوار دوم بیان‌کننده‌ی رقم

دوم مقاومت است؛ برای مثال در جدول رنگ‌ها، رنگ سیاه برای این نوار نشان می‌دهد که عدد دوم صفر است.

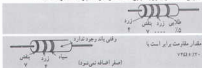
ضریب مقاومت: رنگ نوار سوم تعیین می‌کند که دو رقم اول در کدام مضرب از ده باید ضرب شوند تا مقدار مقاومت به دست آید؛ برای مثال، اگر این نوار به رنگ سبز باشد، با استفاده از جدول رنگ‌ها دو رقم اولیه باید در ۱۰۰۰ ضرب شوند. به عبارت دیگر، می‌توان چنین گفت که این رنگ تعداد صفرهایی را که باید جلوی دو رقم دیگر گذاشته شود نشان می‌دهد تا مقدار نامی مقاومت به دست آید؛ مثلاً اگر این رنگ نارنجی باشد، باید سه صفر در جلوی دو رقم اضافه شود و اگر سیاه باشد هیچ صفری در جلوی آن قرار نمی‌گیرد.

حدود خطا (اتلافات): رنگ نوار چهارم بیان‌کننده‌ی حدود خطای مقاومت است؛ برای مثال، اگر این نوار به رنگ طلایی باشد، حدود خطای مقاومت  $\pm 5\%$  است و چنانچه هیچ رنگی در نوار چهارم نباشد، حدود خطا ۲۰ درصد خواهد بود.

جدول ۱- شال جدول کد رنگی

رنگ	اعداد صحیح	ضریب	اتلافات
سیاه	۰	۱	—
قهوه‌ای	۱	۱۰	—
قرمز	۲	۱۰۰	—
نارنجی	۳	۱۰۰۰	—
زرد	۴	۱۰,۰۰۰	—
سبز	۵	۱۰۰,۰۰۰	—
آبی	۶	۱,۰۰۰,۰۰۰	—
بنفش	۷	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	—
خاکستری	۸	۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰	—
سفید	۹	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	—
طلایی	—	$\times 0.1$	$\pm 5\%$
قرمزی	—	$\times 0.01$	$\pm 2\%$
بی‌رنگ	—	—	$\pm 20\%$

نخودی استفاده از جدول بالا چنین است: مقدار مقاومت عبارت است از:  $47 \times 10^3 \pm 5\%$



## خلاصه‌ی مطالب

« عناصر متناسب با مقاومت مخصوصی که در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهند، نسبت به مقاومت مخصوص، فلز مس مستحب‌تر می‌شود.

« مقاومت الکتریکی هادی‌های خوب، کم و مقاومت مایق‌ها زیاد است.

« مقاومت هر سیم‌به‌اراده و جنس آن بستگی دارد. هر چه سطح مقطع سیم بیش‌تر باشد، مقاومت الکتریکی

کمتر و هر چه طول آن زیادتر باشد، مقاومت الکتریکی بیش‌تر است. به عبارت دیگر، مقاومت الکتریکی سیم با سطح مقطع نسبت معکوس و با طول و جنس سیم نسبت مستقیم دارد.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

« ضریب حرارتی یک جسم بیان‌کننده‌ی تأثیر حرارت بر مقاومت آن جسم است. ضریب حرارتی مثبت

بدین معناست که با افزایش دما مقاومت زیاد می‌شود و ضریب حرارتی منفی بدین معناست که با افزایش دما مقاومت کم می‌شود.

$$\frac{R_L}{R_C} = \frac{1 + \alpha t_L}{1 + \alpha t_C} \quad R = R_L (1 \pm \alpha t)$$

برای فلزاتی که ضریب حرارتی مثبت دارند علامت + و برای فلزاتی که ضریب حرارتی منفی دارند علامت - در نظر گرفته می‌شود.

« واحد مقاومت الکتریکی اهم است. در صورتی که ولتاژی معادل ۱ ولت به‌وسیله‌ی مقاومتی اعمال می‌شود و جریان ۱ آمپر از آن عبور کند، مقدار مقاومت ۱ اهم است.

« مقاومت کل یک مدار الکتریکی مجموع مقاومت‌های متبوع و اتزان - مصرف کننده و سیم‌های رابط است.

« معمولاً مقاومت مصرف‌کننده‌ی الکتریکی به‌مراتب از مقاومت سیم‌ها و متبوع و اتزان بیش‌تر است. به‌طوری که می‌توان مقاومت کل را در نظر گرفت.

« مقاومت‌ها را بر این‌گونه‌ی جریان الکتریکی در مدارها قرار می‌دهند.

« از نظر ساختمان سه نوع مقاومت وجود دارد: ترکیبی، سیم‌پیچی و لایه‌ای. امروزه مقاومت لایه‌ای کاربرد زیادی دارد.

« مقاومت‌های ترکیبی معمولاً از یک المان مقاومتی یا پودر گرین ساخته می‌شوند. آن‌ها دارای ضریب حرارتی زیاد، جریان مجاز کم و خطای زیاد هستند. هر برای این مقاومت‌ها، بسطی، کوچکی اندازه و ارزش بودنشان است.

« مقاومت‌های سیم‌پیچی معمولاً از سیم‌های مقاومتی خاصی که به‌دور یک هسته پیچیده شده‌اند، ساخته می‌شوند. این مقاومت‌ها جریان مجاز زیادی دارند و از نوع مقاومت‌های قدرتی یا دقیق‌اند.

« مقاومت‌های لایه‌ای معمولاً از ماده‌ی مقاومتی ساخته می‌شوند که به‌صورت لایه‌ای نازک بر روی پوشه‌ی سرامیک یا شیشه لعاب داده می‌شوند.

« مقاومت‌های قابل تنظیم زیادتری متحرک دارند که در مدار برای مقاومت معینی تنظیم می‌شود. این نوع مقاومت‌ها بر این تنظیم بی‌درین ساخته نشده‌اند.

« مقاومت‌های متغیر مشابه مقاومت‌های قابل تنظیم‌اند؛ با این تفاوت که به‌طور مداوم در محدوده‌ی معینی

متغیر شد. اگر هر سه ترمیدال، یک مقاومت متغیر در مدار متصل باشند، پتانسیو متی نام دارد. اگر فقط ترمینال مرکزی و یکی از دو ترمیدال دیگر به مدار متصل باشند، رنوستا نام دارد.

• مقدار اسمی و تارانس مقاومت را در مقاومت های ثابت ترکیبی و مقاومت های بار ایه محوری، با علامت های رنگی نشان می دهند. دو توار رنگی نخستین از رقم صحیح، توار سوم ضریب و توار چهارم تارانس (خط) را نمایش می دهد.

## پرسش

- ۱- فازی یا ضریب هدایت نسبی ۰/۹۹، یک خازن خوب است یا بد؟
- ۲- یک عنصر مشخص ۱۵ اهم مقاومت دارد. اگر سطح مقطع آن را سه برابر کنیم، مقاومت آن چه قدر می شود؟
- ۳- ضریب حرارتی را تعریف کنید.
- ۴- آیا طول سیم در ضریب حرارتی آن تأثیر دارد؟
- ۵- مقاومت داخلی یک منبع ولتاژ را تعریف کنید.
- ۶- ضریب حرارتی مس مثبت است یا منفی؟
- ۷- برای محاسبه ی مقاومت مدار چه پارامترهایی در نظر گرفته می شود؟
- ۸- واحد و علامت اختصاری مقاومت چیست؟
- ۹- اگر یک سیم مسی گرم شود، مقاومت آن چه تغییری می کند؟
- ۱۰- ساختمان سه نوع مقاومت ثابت را شرح دهید.
- ۱۱- محاسن و معایب مقاومت های ترکیبی را شرح دهید.
- ۱۲- محاسن و معایب مقاومت های سیم پیچی را شرح دهید.
- ۱۳- مقاومت های لایه ای چه محاسنی دارند؟
- ۱۴- مقدار اسمی مقاومت را شرح دهید.
- ۱۵- تارانس مقاومت را شرح دهید.
- ۱۶- تفاوت رنوستا و پتانسیومتر چیست؟
- ۱۷- علامت رنگی مقاومت ها را شرح دهید.
- ۱۸- منظور از ارقام صحیح در علامت رنگی چیست؟
- ۱۹- طبقه بندی مقاومت های متغیر و قابل تنظیم چگونه است؟

## تمرین

- ۱- اگر  $\rho_{Cu} = 0.01718 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$  باشد، مطلوب است محاسبه ی  $\kappa_{Cu} = \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  اج
- ۲- اگر  $\kappa_{Al} = 36 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  باشد، مطلوب است محاسبه ی  $\rho_{Al} = 0.01717 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$  اج
- ۳- یک سیم مسی به طول ۱ را به چهار قسمت مساوی تقسیم می کنیم. آن گاه این چهار قسمت را کنار هم

می‌گذاریم و به صورت سیم واحدی (مثل کابل چهارتایی) از آن‌ها استفاده می‌کنیم. آیا مقاومت الکتریکی این سیم نسبت به حالت اولیه کم می‌شود یا زیاد؟ (از کاهش طول به خاطر پیچش صرف‌نظر می‌کنیم.)

۹- پیدا کنید مقاومت الکتریکی یک لوله‌ی توخالی از جنس مس را که قطر خارجی آن  $5\text{mm}$  و قطر داخلی

$$\text{آن } 9\text{mm} \text{ باشد؛ در صورتی که } 1 = 3.14 \text{ و } \kappa_{\text{Cu}} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}} \text{ است.} \quad \text{ج) } -1.8\Omega$$

۱۰- روی استوانه‌ای به قطر  $5$  سانتی‌متر  $100$  دور سیم مسی به سطح مقطع  $1/5\text{mm}^2$  می‌پیچیم. مقاومت الکتریکی این سیم پیچ چقدر است؟

$$\kappa_{\text{Cu}} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}} \quad \text{ج) } -1.8\Omega$$

۱۱- سیمی به طول  $5/8\text{m}$  و سطح مقطع  $7\text{mm}^2$  را از داخل حنبد می‌گیرانیم؛ به‌طوری‌که سطح مقطع آن به  $\frac{1}{4}$  حالت اول برسد. طول جدید سیم و مقاومت آن قبل و بعد از حنبد کردن چقدر است؟

$$\kappa_{\text{Cu}} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}} \quad \text{ج) } 1.6/8\text{m} \text{ و } 0.1033\Omega \text{ و } 0.13\Omega$$

۱۲- قطر سیمی  $9\text{mm}$  و مقاومت آن یک اهم است. اگر قطر سیم را به  $1\text{mm}$  برسانیم، مقاومت آن چقدر می‌شود؟ (طول سیم در حالت اول  $1$  و در حالت بعد  $1'$  به‌طوری‌که  $1' > 1$ ).

$$\text{ج) } 16\Omega$$

۱۳- قطر یک سیم کربن نیکل به طول یک متر،  $0.4'$  میلی‌متر و مقاومت آن  $3$  اهم است. مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص آن را پیدا کنید.

$$\text{ج) } \kappa = 1/18 \text{ و } \rho = 0.185$$

۱۴- مقاومت سیم پیچی یک ژنراتور در دمای  $25$  درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. پس از این‌که ژنراتور مدتی کار می‌کند، مقاومت سیم پیچی آن  $20$  درصد افزایش می‌یابد. دمای داخلی آن را حساب کنید.

$$\text{ج) } 1 = 80^\circ\text{C} \quad (\alpha = 0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}})$$

۱۵- مقاومت یک هادی از  $22$  تا  $75$  درجه  $39$  درصد افزایش می‌یابد. ضریب حرارتی آن را تعیین کنید.

$$\text{ج) } \alpha = 0.007 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

۱۶- مقاومت سیم پیچی یک بوبین در دمای  $10$  درجه  $20$  اهم بوده است ولی پس از یک ساعت که جریان از آن عبور کرده به  $29$  اهم رسیده است. علت افزایش مقاومت آن را بیان کرده و دمای سیم پیچی را در این موقع تعیین کنید.

$$\text{ج) } 1 = 72^\circ\text{C} \quad \alpha = 0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

۱۷- مقاومت سیم پیچی یک ماشین الکتریکی جریان مستقیم در دمای  $10$  درجه‌ی سانتی‌گراد  $52\Omega$  است.

$$\text{اگر ضمن کار کردن دما به } 80^\circ\text{C} \text{ برسد، مقاومت ماشین چقدر می‌شود؟} \quad \alpha = 0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\text{ج) } 64\Omega$$

۱۸- مقاومت سیم پیچ رله‌ای در  $15$  درجه‌ی سانتی‌گراد برابر  $50\Omega$  است. اگر حداکثر مقاومت در دمای

$$1 \text{ برابر } 80\Omega \text{ باشد، به‌طوری‌که رله مدار را قطع کند، آن را پیدا کنید.} \quad \alpha = 0.004 \frac{1}{^\circ\text{C}} \quad \text{ج) } 1 = 88^\circ\text{C}$$

۱۴- برای این که مقاومت سیمی را ۴۰ درصد اضافه کنیم، دما چه قدر باید افزایش یابد؟

$$\alpha = 0.004 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \quad (\text{دمای اولیه ی سیم صفر درجده ی سانتی گراد})$$

$$\text{ج) } t = 10^{\circ}\text{C}$$

۱۵- مقاومت یک اتوی برقی در صفر درجده ی سانتی گراد ۵۰Ω است، اگر درجه حرارت این اتو ضمن کار

$$\text{کردن به } 75^{\circ}\text{C} \text{ برسد، مقاومت آن چه قدر می شود؟} \quad \alpha = 0.004 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \quad \text{ج) } R = 50.75\Omega$$

## مفصله ی آزار

### آزمایش ۴



شکل ۵-۲۵

الف- ولت متر و روش استفاده از آن؛ ولت متر دستگاهی است که اختلاف سطح یا افت ولتاژ بین دو سر مصرف کننده یا ولتاژ اعمال شده به یک مصرف کننده را با آن اندازه گیری می کنند. ولت مترها بر حسب دقت و مبنای ولت و میلی ولت درجه بندی می شوند. ولت متر به طور موازی به مصرف کننده وصل می شود. طرز اتصال ولت متر در شکل ۵-۲۵ نشان داده شده است.

منظور از آزمایش؛ فراگیری طرز صحیح به کار بردن ولت متر در اندازه گیری ولتاژهای DC و AC و روش خواندن ولتاژ در رنج های مختلف است. وسایل مورد نیاز؛ ولت متر ۴ عدد، منبع تغذیه (AC و DC) مقاومت در مقادیر مختلف، سیم های رابط.

اجرای آزمایش؛ مداری را مطابق شکل ۵-۲۶ تشکیل می دهیم و مقاومت های آن را مقاومت انتخاب می کنیم (مثلاً  $R_1 = 100\Omega$  و  $R_2 = 200\Omega$  و  $R_3 = 300\Omega$ ). منبع ولتاژ را روی ولتاژ  $U = 6V$  تنظیم می کنیم. ولتاژهای دو سر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  و همچنین دو سر مدار را اندازه گیری و نتایج را یادداشت می کنیم. بار دیگر ولتاژ را روی  $U = 6V$  متناوب تنظیم و آزمایش را تکرار می کنیم. آیا در اندازه های به دست آمده تغییری مشاهده می شود؟



شکل ۵-۲۶

ب- آمپر متر و روش استفاده از آن؛ آمپر متر دستگاهی است که مقدار شدت جریان عبوری را در یک مدار بسته الکتریکی با آن اندازه می گیرند. دقت آمپر مترها یکسان نیست و این دستگاه، شدت جریان را بر حسب آمپر، میلی آمپر و میکرو آمپر می بخشد. آمپر متر را در مدار به طور سری می بندند. این دستگاه هرگز نباید به طور موازی اتصال یابد.



منظور از آزمایش تشکیل یک مدار ساده و فراگیری چندگونگی اندازه‌گیری شدت جریان و بررسی تغییرات آن در اثر تغییر ولتاژ یا تغییر مقاومت است.

وسایل مورد نیاز: آمیتر، منبع تغذیه یا باتری، مقاومت‌های معلوم، سیم‌های رابط.

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۵-۳۲ تشکیل دهید. قبل

از شروع اندازه‌گیری به نکات زیر دقت کنید.

۱- همیشه در شروع اندازه‌گیری کلید سلکتور را در رنج بالاتری قرار دهید. سپس، در صورت امکان وضعیت کلید را تغییر دهید؛ به‌طوری‌که عقربه‌ی دستگاه در حدود اواسط صفحه باشد.

۲- هرگز آمیتر را به دو سر یک باتری یا منبع تغذیه وصل نکنید. این عمل به دستگاه آسیب می‌رساند.

۳- هنگام اتصال آمیتر به‌طور سری در مدار توجه کنید که سیم مثبت حتماً به قطب مثبت باتری و سیم منفی به قطب منفی باتری تریه‌یک باشد.

۴- مقادیر مختلف ولتاژ و مقاومت را انتخاب کنید. مقادیر شدت جریان را در مدار برحسب آمپر، میلی‌آمپر و میکروآمپر اندازه‌گیری و در جدول ۵-۴ یادداشت کنید.

جدول ۵-۴

ولتاژ	مقاومت	شدت جریان		
		A	mA	μA
U	R=			
U	R=			
U	R=			
U	R=			

ب- با اهم متر و روش استفاده از آن: پارامترهای اصلی در مدارهای الکتریکی عبارت‌اند از: ولتاژ، جریان و مقاومت.

واحد مقاومت اهم است و اهم متر یک وسیله‌ی اندازه‌گیری الکتریکی است که برای اندازه‌گیری مقاومت به کار می‌رود. اهم متر یک باتری دارد که منبع ولتاژ آن را تشکیل می‌دهد. وقتی سیم‌های اهم متر به یک‌دیگر یا به دو سر یک مقاومت وصل شوند، جریان از دستگاه عبور می‌کند و موجب حرکت عقربه‌ی آن می‌شود.

### اندازه‌گیری مقاومت

یک مقاومت را انتخاب کنید و کلید سلکتور را روی (R×1) قرار دهید. صفر دستگاه را تنظیم کنید. دو سر سیم‌های اهم متر را به دو سر مقاومت وصل کنید و توجه داشته باشید که دست‌هایتان در این حال به دو سر مقاومت متصل نباشد. دستگاه مقدار مقاومت بدن شما و مقاومت مورد نظر را در مجموع و به‌طور موازی نشان خواهد داد. عددی را که عقربه نشان می‌دهد، در ۱ ضرب کنید، حاصل، مقدار مقاومت خواهد بود. در صورتی که انحراف عقربه به اندازه‌ی کافی نباشد، کلید سلکتور را روی R×10 قرار دهید تا عقربه مجدداً به وسط صفحه برسد. در این صورت، عدد خوانده شده را در ده ضرب کنید.

## آزمایش ۵

اگر به منظور از آزمایش: بررسی عوامل مؤثر در مقاومت و تحقیق رابطه  $R = \rho \frac{l}{A}$  است.

به وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه، ولت‌متر، آمپر متر، پایه‌ی آزمایش، سیم‌های رابط و سیم‌های مسی، آهنی، آلومینیومی، کستانتان، کروم نیکل.

به اجرای آزمایش

آزمایش الف: مطابق شکل، بین دو ترمینال A و B سیم‌هایی با طول و سطح مقطع مساری ولی از جنس‌های متفاوت را به نوبت متصل کرده و به کمک آمپر متر و ولت‌متر مقادیر جریان و ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کنیم. در این آزمایش، از سیم‌های مسی و آهنی به که قطر هر یک ۰/۵ میلی‌متر است به استفاده می‌کنیم و مقادیر حاصل از اندازه‌گیری را در جدول ۵-۳ می‌نویسیم. طول سیم در تمام حالات ۶ متر انتخاب می‌شود. نتیجه‌ی این آزمایش چیست؟ مقادیر مقاومت با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.



شکل ۵-۳

جدول ۵-۳

جنس	$A(\text{mm}^2)$	$L(\text{m})$	$R(A)$	$U(V)$	$R(\Omega)$
مس					
آهنی					
کستانتان					
آلومینیوم					

آزمایش ب: در این آزمایش، سیم‌هایی با مقطع‌های مساری ولی طول‌های مختلف از جنس کستانتان را بین دو ترمینال وصل کرده و مقدار جریان را اندازه‌گیری کنید. نتایج اندازه‌گیری را در جدول ۵-۴ بنویسید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

جدول ۵-۴

(در این آزمایش ولتاژ ثابت و A ولت است.)

جنس	$A(\text{mm}^2)$	$L(\text{m})$	$R(A)$	$U(V)$	$R(\Omega)$
مس					
آهنی					
کستانتان					
آلومینیوم					

آزمایش به در این آزمایش، فاصله‌ی بین دو ترمینال را یک متر اختیار می‌کنیم و از سیم گسترش‌تان به نوبت یک لا، دو لا و سه لا بین دو ترمینال وصل می‌کنیم. (بدین ترتیب، سطح مقطع کلی دو برابر و سه برابر خواهد شد.) ولتاژ را ثابت و برابر ۶ ولت اختیار می‌کنیم. نتایج اندازه‌گیری در جدول شده نوشته می‌شود. نتیجه‌ی این آزمایش چیست؟

جدول شده

جنس	A (mm <sup>2</sup> )	L (m)	I (A)	U (V)	R (Ω)
گسترش‌تان					
گسترش‌تان					
گسترش‌تان					

نتیجه‌ی کلی: پس از انجام دادن آزمایش‌های گفته شده در می‌یابیم که مقاومت با طول و مقاومت مخصوص نسبت مستقیم و با سطح مقطع نسبت عکس دارد؛ پس می‌توان نوشت:  $R = \rho \frac{L}{A}$

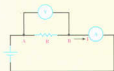
## آزمایش ۶ - اثر حرارت بر مقدار مقاومت

الف - منظور از آزمایش: بررسی تغییرات مقدار مقاومت بر حسب تغییر دما و جنس مقاومت.  
ب - وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه، آمپر متر، ولت متر، سیم‌های رابط، دو عدد پایه، شمع و مقاومت‌هایی از جنس مس، آهن، گسترش‌تان، و زغال.

ب - اجرای آزمایش: در این آزمایش، مطابق شکل ۲۹-۵ بین دو نقطه‌ی A و B سیم تارکلی را به صورت مقاومت متصل می‌کنیم. برای مطلوب بودن مقدار مقاومت، سیم را درازتر انتخاب می‌کنیم و سپس به صورت حلقه می‌بجیم. آن‌گاه، آن را با شعله‌ی چراغ الکلی یا شمع حرارت می‌دهیم. مقاومت سیم بجز را یک بار قبل از حرارت دادن و بار دیگر بعد از وصل شدن به منبع ولتاژ اندازه‌گیری می‌کنیم. در این آزمایش، مقدار ولتاژ را ثابت (مثلاً ۶ ولت) انتخاب می‌کنیم و شدت جریان را اندازه می‌گیریم. با استفاده از قانون اهم، مقاومت را اندازه‌گیری و سپس نتایج را در جدول ۶-۵ یادداشت می‌کنیم.

جدول ۶-۵

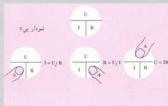
جنس	سرد			گرم	
	u	I <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>
مس					
گسترش‌تان					
آهن					
زغال					



شکل ۲۹-۵

نتیجدهی کلی: از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که مقاومت الکتریکی بیش‌تر فلزات بر اثر حرارت افزایش و جریان عبوری آن‌ها کاهش می‌یابد. به این نوع فلزات PTC می‌گویند. در بعضی مقاومت‌ها، در صورت حرارت دادن به ذغال شدت جریان افزایش می‌یابد و بنابراین، مقاومت کم می‌شود. به این نوع مقاومت‌ها NTC می‌نامند.

نمودار می:



## قانون اهم

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

- ۱- شکل‌های مختلف قانون اهم را تعریف کند و فرمول هر یک را بنویسد.
- ۲- با حل کردن مسائل مختلف، مفهوم هر سه شکل قانون اهم را توجیه کند.
- ۳- هر یک از مفاهیم شدت جریان، ولتاژ و مقاومت را به شرط معلوم بودن دو کمیت دیگر محاسبه کند.



شکل ۱-۶- مدار الکتریکی

### ۱-۶-۱ شکل‌های مختلف قانون اهم

قانون اهم را به دو صورت دیگر نیز می‌توان نوشت:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{در این رابطه مقاومت مساوی است با } U \text{ (ولتاژ)}$$

تقسیم بر  $I$  (جریان) یا  $U = I \cdot R$  که  $U$  (ولتاژ) مساوی است با  $I$  (شدت جریان) ضرب در  $R$  (مقاومت). بدین ترتیب، هرگاه دو کمیت از سه کمیت جریان، ولتاژ و مقاومت را بدانید می‌توانید کمیت سوم را به آسانی به دست آورید. لازم است حتماً این سه معادله را به خاطر بسازید؛ چون برای حل کردن مسائل مربوط به مدارها به آن‌ها نیاز دارید.

شکل ۶-۲ برای یادآوری سه شکل قانون اهم قابل استفاده است. در این شکل هر کدام از علامت‌ها را با انگشت بی‌شانم، نغلام دیگر مقدار قسمت راست معادله را نشان می‌دهد و مقدار مجهول به راحتی به دست می‌آید.

همان‌طور که در فصل‌های پیش گفتیم، ولتاژ باعث

جاری شدن جریان الکتریکی در مدار بسته می‌شود و مقاومت، با عبور جریان مخالفت می‌کند. بین ولتاژ، جریان و مقاومت رابطه وجود دارد. این رابطه را نخستین بار گئورگ سیمون اهم کشف کرد. به همین دلیل، این رابطه را قانون اهم و واحد مقاومت را نیز اهم نام نهاده‌اند. اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت مداری ثابت نگه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان زیاد می‌شود. هم چنین کاهش ولتاژ، شدت جریان را کم می‌کند. به عبارت دیگر، اهم دریافت کرد که در یک مدار DC، شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم دارد. کشف دیگر او این بود که اگر ولتاژ منبع ثابت نگاه داشته شود و مقدار مقاومت مدار افزایش یابد، شدت جریان کم می‌شود. به همین ترتیب با کم کردن مقاومت، شدت جریان افزایش می‌یابد. بنابراین، بین سه کمیت ولتاژ، مقاومت و شدت جریان رابطه‌ای وجود دارد که آن را قانون اهم می‌نامیم. به‌طور خلاصه، در یک مدار DC، شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت معکوس دارد. رابطه ریاضی قانون اهم به شکل  $I = \frac{U}{R}$  است که در آن  $U$  (ولتاژ) بر حسب ولت و  $R$  (مقاومت) بر حسب اهم و  $I$  (شدت جریان) بر حسب آمپر است.

$$I = 2A$$

مثال ۲: اگر در مدار شکل ۶-۴ جریان مجاز مقاومت ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟



شکل ۶-۴

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌کنیم.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{20}$$

$$I = 5A$$

چون شدت جریان مدار ۵ آمپر بوده و از جریان مجاز مقاومت (۸ آمپر) کوچک‌تر است، بنابراین برای مقاومت مشکلی به وجود نمی‌آید و مقاومت نمی‌سوزد.

مثال ۱۳: اگر در مدار شکل ۶-۵ جریان مجاز مقاومت ۱۰ اهمی ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم به دست می‌آوریم.

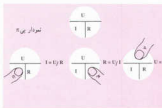
$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10}$$

$$I = 10A$$

چون شدت جریان عبوری از مقاومت ۱۰ آمپر شده و از جریان مجاز آن (۸ آمپر) بیش‌تر است، بنابراین مقاومت خواهد سوخت.



شکل ۶-۵



شکل ۶-۶ سه شکل قانون اهم (نمودار بی.اچ)

## ۶-۲ محاسبه‌ی جریان

در مواردی لازم است مقدار شدت جریان را که از مدار عبور می‌کند، محاسبه شود. با داشتن کمیت‌های ولتاژ و مقاومت و با استفاده از قانون اهم شدت جریان را به راحتی می‌توان محاسبه کرد. روشی خوبی که در این مورد می‌توان به کار بست، این است که معلوم‌ها و مجهول‌ها را مشخص دهیم. مجهول کمیتی است که می‌خواهیم آن را پیدا کنیم و معمولاً در طرف چپ معادله قرار می‌گیرد. معلوم‌ها کمیت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها را داریم و معمولاً در طرف راست معادله قرار می‌گیرند.

مثال ۱: اگر در مدار شکل ۶-۳ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به در سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چقدر است؟



شکل ۶-۳

وفتی که شدت جریان (I) مجهول است، می‌توان از معادله‌ی  $I = \frac{U}{R}$  استفاده کرد.

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{10}{5}$$

### ۴-۳- محاسبه مقاومت

مقاومت را به وسیله قانون اهم و با استفاده از رابطه‌ی

$$R = \frac{U}{I}$$

می‌توان محاسبه کرد.

برای انتخاب مقاومت مناسب در مدار با محاسبه مقاومت

بار پراحتی می‌توان از قانون اهم استفاده کرد.

مثال ۳: اگر در مدار شیکل ۴-۲ رتوسنا در وسط محدوده‌ی خود تنظیم شود و شدت جریان ۳ آمپر از آن عبور کند، مقاومت مدار و مقاومت کل رتوسنا چه قدر است؟

$$R = \frac{U}{I} = \frac{60}{3}$$

$$R = 20 \Omega \quad \text{مقاومت مدار}$$

$$R_0 = 2R = 2 \times 20$$

$$R_0 = 40 \Omega \quad \text{مقاومت رتوسنا}$$



شیکل ۴-۳

مثال ۵: اگر در مثال ۴ به‌جای شدت جریان مدار ۴ آمپر شود، افزنده‌ی رتوسنا در چه محدوده‌ای باید قرار گیرد؟ (شیکل ۴-۷)

$$R = \frac{U}{I} = \frac{60}{4}$$

$$R = 15 \Omega$$



شیکل ۴-۷

اگر افزنده‌ی رتوسنا در  $\frac{1}{4}$  کل مقاومت قرار گیرد، شدت جریان مدار ۶ آمپر می‌شود.

### ۴-۴- محاسبه ولتاژ

ولتاژ را براساس قانون اهم با استفاده از رابطه‌ی  $U = I \cdot R$

می‌توان محاسبه کرد.

مثال ۶: اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریان به‌شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شیکل ۴-۸ ولتاژ منبع چند ولت است؟

$$U = I \cdot R = 1 \times 100$$

$$U = 100V$$



شیکل ۴-۸

مثال ۷: چنان‌چه بازاری مثال ۶ در مدار شیکل ۴-۹ بر اثر فرسودگی، جریان ۵/۰ آمپر را در مدار جاری کند، ولتاژ منبع به چه میزان کاهش یافته است؟

$$U = I \cdot R = 0.5 \times 100$$

$$U = 50V \quad \text{ولتاژ منبع در حالت فرسودگی}$$

$$100 - 50 = 50V \quad \text{افت ولتاژ}$$



شیکل ۴-۹

\* کاهش ولتاژ منبع به‌شدت فرسودگی، بر اثر افزایش مقاومت داخلی باقی است.



## آزمایش ۷- قانون اهم

الف- منظور از آزمایش: تحقیق قانون اهم و بررسی رابطی اختلاف پتانسیل دو سر یک هادی با شدت جریانی که از آن عبور می‌کند.

ب- وسایل مورد نیاز: ولت‌متر، آمپر متر، منبع تغذیه جریان مستقیم و متناوب، مقاومت متغیر و سیم‌های رابط.

پ- اجرای آزمایش: مداري را مطابق شکل ۶-۱ می‌بینیم و آزمایش‌های زیر را انجام می‌دهیم.



۱- با مقاومت ثابت ۱۰۰ اهمی مقادیر ولتاژ را تغییر می‌دهیم و به کمک

آمپر متر شدت جریان  $I$  و به کمک ولت‌متر ولتاژ دو سر مقاومت  $R$  را اندازه می‌گیریم و در جدول ۶-۱ یادداشت می‌کنیم.

جدول ۶-۱

نتیجه‌ی آزمایش	$R$	$I$	$U$	حالت

۲- در این آزمایش، مقاومت  $R$  را تغییر می‌دهیم و با ثابت نگه‌داشتن ولتاژ، شدت جریان را به کمک آمپر متر اندازه می‌گیریم و نتایج را در جدول ۶-۲ یادداشت می‌کنیم. با مقایسه‌ی مقادیر مقاومت و شدت‌جریان، چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟

نتیجه‌ی کلی: از آزمایش‌های گفته شده نتیجه می‌گیریم که شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد و می‌توان برای آن‌ها رابطه‌ی  $I = \frac{U}{R}$  را - که قانون اهم نامیده می‌شود - نوشت.

جدول ۶-۲

نتیجه‌ی آزمایش	$R$	$I$	$U$	حالت

## خلاصه مطالب

• قانون اهمر رابطه‌ی بین ولتاژ، جریان و مقاومت و اندر یک مدار جریان مستقیم (DC) بیان می‌کند. این قانون در مدار جریان مستقیم چنین است، که هر جریانی با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد.

• قانون اهم را می‌توان به صورت سه تساوی نشان داد: الف)  $I = \frac{U}{R}$  این تساوی هنگامی به کار می‌رود که

جریان  $I$  در مدار مجهول باشد ب)  $R = \frac{U}{I}$  از این تساوی هنگامی استفاده می‌شود که مقاومت  $R$  در مدار مجهول

باشد ب)  $U = IR$  این تساوی در مواقعی به کار می‌رود که ولتاژ  $U$  در مدار مجهول باشد. برای به ظاهر سیردن

سه تساوی قانون اهم می‌توان از شکل ۳-۵ استفاده کرد. هرگاه یکی از اجزای شکل مجهول باشد، دو چیز دیگر (اجزای معلوم) در طرف راست تساوی (اجزای معلوم) و چیز مجهول در طرف چپ آن قرار می‌گیرند.

## پرسش

۱- قانون اهم و سه تساوی آن را بیان کنید.

۲- مداری رسم کنید که در آن یک باتری ۱۵ ولت و مقاومت بار ۱۵ اهم را تغذیه کند. شدت جریان را در مدار به دست آورید.

۳- دو صورتی را که در آن‌ها جریان الکتریکی گفته شده در سؤال ۲، تکرار می‌شود، بیان کنید.

۴- اگر مقاومت مدار ۹ برابر شود، ولتاژ مدار چه قدر باید باشد که جریان الکتریکی اصلی از مدار عبور کند؟

۵- شدت جریان در مقاومت لایه‌ای با مقاومت ۱۰۰ اهم حداکثر ۲ آمپر است. حداکثر ولتاژ به کار رفته در مدار چه قدر است؟

$$\text{ج) } U = 200 \text{ V}$$

$$\text{ج) } I = 5 \text{ A}$$

۶- در سؤال ۵ ولتاژ ۵۰۰ ولت در مدار چه اثری خواهد داشت؟

۷- طریقه‌ی استفاده از شکل ۳-۶ را بیان کنید.

۸- چنانچه ولتاژ ثابت باشد و مقاومت مدار  $\frac{1}{4}$  شود، جریان چه تغییری خواهد کرد؟

۹- اگر مقاومت مدار  $\frac{1}{4}$  شود، چه تغییری باید در مدار داد تا جریان به صورت اول باقی بماند.

۱۰- دو برابر کردن مقاومت یک مدار = چنانچه ولتاژ را ثابت نگه داریم = چه اثری در جریان الکتریکی خواهد داشت؟ اگر ولتاژ را نصف کنیم و مقاومت را ثابت نگه داریم، چه تغییری در جریان ایجاد خواهد شد؟ حال اگر ولتاژ و مقاومت را دو برابر کنیم، چه تغییری در جریان حاصل خواهد شد؟

## تحرین

۱- به دو سر یک مقاومت ۴۰ اهمی ولتاژی برابر ۳۶ ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟

$$\text{ج) } I = 0.9 \text{ A}$$

۲- ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر ۱/۲ آمپر از یک مقاومت ۵ اهمی چه قدر است؟  $U = 6.7 \text{ V}$  ج)  $U = 6.7 \text{ V}$

۳- یک لامپ برای ۱۵۰ اهم مقاومت دارد و ولتاژی برابر ۱۲۰ ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.  
 (ج)  $i = 0.8A$

۴- از یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپر متر مداري تشکیل داده‌ایم. اگر منبع ولتاژ را ۲۴ ولت اختیار کنیم، آمپر متر مقدار ۱/۵ آمپر را نشان خواهد داد. مقدار مقاومت مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع ۲۴ ولتی، منبع ولتاژ ۳۶ ولتی قرار دهیم، آمپر متر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

(ج)  $R = 16\Omega$  و  $i = 2/25A$

۵- چه ولتاژی در مقاومت ۳۰ اهمی، جریانی برابر با ۱۰۰ میلی‌آمپر ایجاد می‌کند؟  
 (ج)  $U = 3V$

۶- یک مقاومت ۱۰۰ اهمی از منبع ولتاژی، جریانی برابر با ۱۵۰ میلی‌آمپر می‌کشد.

۱- مقدار ولتاژ منبع را تعیین کنید. ۲- اگر جریان دریافتی این مقاومت از همان منبع برابر بالا رفتن دما به اندازه ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۱۰۰ میلی‌آمپر شود، تغییر مقاومت آن را در این دما تعیین کنید.

(ج)  $U = 15V$  و  $AR = 5\Omega$

۷- ماکزیم ولتاژی که یک مقاومت می‌تواند تحمل کند ۱۲۰ ولت است. اگر جریانی به شدت ۱۰ آمپر از آن

بگذرد و مقاومت آن ۲۲/۵ اهم باشد، آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟



## آثار جریان الکتریکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش آموز انتظار می‌رود:

- ۱- آثار جریان الکتریکی را نام ببرد.
- ۲- هر کدام از این آثار را با ذکر مثال‌هایی توضیح دهد.

تجربیات می‌شود! به همین دلیل، برای ایجاد اثرات شیمیایی می‌توان از جریان الکتریکی با اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده کرد. در الکتروشیمی به این پدیده الکترولیز می‌گویند! برای مثال، اگر جریان الکتریکی از آب ( $H_2O$ ) حاوی مقدار کمی اسید سولفوریک عبور کند، مولکول‌های آب به اتم‌های اکسیژن و هیدروژن تجزیه می‌شوند. اتم‌های اکسیژن الکترون‌هایی را که اتم‌های هیدروژن با آن‌ها به مشارکت گذاشته بودند، آزاد نمی‌کنند. در نتیجه، اتم‌های هیدروژن، یون مثبت ( $H^+$ ) و اتم‌های اکسیژن یون منفی ( $O^{2-}$ ) می‌شوند و این یون‌ها به طرف الکترودهای با بار مخالف جذب می‌گردند. در الکترود منفی، یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌ها را می‌گیرند و خنثا می‌شوند و از آب به صورت گاز خارج می‌گردند. در الکترود مثبت، یون‌های منفی اکسیژن الکترون از دست می‌دهند، به حالت خنثا در می‌آیند و از آب به صورت گاز خارج می‌گردند. این گاز را می‌توان درون شیشه‌ای (مثلاً) تولدی آزمایش جمع کرده. در الکترود منفی الکترونی وارد می‌شود تا جانشین هر الکترونی شود که یون هیدروژن به خود می‌گیرد. در قطب مثبت نیز به ازای هر الکترونی که اتم اکسیژن از دست می‌دهد، الکترونی خارج می‌شود. به همین دلیل، عبور جریان پوسته اتم‌ها دارد تا این که آب به‌طور کامل به گازهای اکسیژن و هیدروژن تبدیل شود.

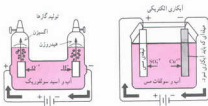
جریان الکتریکی، واکنش‌های شیمیایی، فشار، گرما، نور و مغناطیس تولید می‌کند. در فصل دوم دیدیم که همین آثار می‌تواند برای تولید انرژی الکتریکی به کار رود.



شکل ۱-۷-۱ آثار الکتریسته

۱-۷-۲ تولید واکنش‌های شیمیایی از طریق جریان الکتریکی

بار الکتریکی نیروی اصلی است که باعث پیوند شیمیایی



شکل ۷-۲- اختلاف پتانسیل الکتریکی باعث تجزیه الکترولیت به یون‌ها می‌شود.

در شکل ۷-۳، پ ولتی ولتاژ صوتی به نوک نیز کریستال داده شود. مناسب با شدت صوت ارتعاش می‌کند و تپ‌هایی مناسب با صدا روی صفحه به وجود می‌آید (آسیک کار صفحه‌های گرامافون) و به این ترتیب، صدا روی آن ضبط می‌شود.

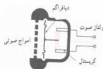


شکل ۷-۳- پ- باخشدان گرامافون

یک نمونه از کاربرد الکترونی، آبنکاری پرفی است. اگر آب با سولفات مس  $SO_4$  و  $Ca^{++}$  و یون‌های منفی سولفات  $(SO_4^{--})$  تجزیه می‌شود. یون‌های مس به سمت الکترود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کند ولی چون مس فلز است به الکترود خواهد چسبید، پس از مدتی، الکترود به طور کامل در لایه‌ای از مس پوشیده خواهد شد. از این طریق می‌توان با نقره و طلا نیز آبنکاری کرد.

### ۷-۲- تولید فشار پدوسیله‌ای جریان الکتریکی

همان‌طور که نیرو با فشار در بعضی از کریستال‌ها خش یا جرخش ایجاد می‌کند. اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خش یا جرخش در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۷-۴، الک و ولتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوش داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزاند. در نتیجه این امر، صدا از طریق گوشی شنیده می‌شود.



شکل ۷-۴- الک- باخشدان گوشی

### ۷-۳- تولید گرما پدوسیله‌ای جریان الکتریکی

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می‌کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می‌شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان‌تر است، نتیجه می‌گیریم که در آن حرارت کم‌تری تولید می‌شود. یک هادی با قابلیت هدایت کم - مانند نیکروم - هنگامی که جریانی را از خود عبور می‌دهد، حرارت زیادی تولید می‌کند.

قابلیت هدایت مس ۶۰ برابر نیکروم است. شکل ۷-۳ موارد استفاده‌ی از حرارتی الکتریسته را نمایش می‌دهد.



شکل ۷-۳ موارد استفاده‌ی از حرارتی الکتریسته

فلورسانس زکیبی از فسفرسانس و الکترولومینسانس است. گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و امده‌ی ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این تشعشعات با لایه‌ی فسفرسانس برخورد می‌کنند و «نور سفید» می‌دهند.



شکل ۷-۴ تولید نور توسط جریان الکتریکی

#### ۷-۵ تولید مغناطیس پدوسیله‌ی جریان الکتریکی

در فصل دوم اشاره کردیم که جریان الکتریکی را می‌توان پدوسیله‌ی مغناطیس تولید کرد. خاصیت مغناطیسی نیز پدوسیله‌ی جریان الکتریکی تولید می‌شود. هر هادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک مغناطیس عمل می‌کند. به این خاصیت خاصیت الکترومغناطیسی می‌گویند. در فصل نهم درباره‌ی خاصیت الکترومغناطیسی به‌طور متروح سخن خواهیم گفت. در شکل ۷-۶ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید. در صورت قطع شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.



شکل ۷-۶ تولید خاصیت مغناطیس توسط جریان الکتریکی

#### ۷-۶ تولید نور پدوسیله‌ی جریان الکتریکی

وقتی که از هادی‌های ضعیف جریانی عبور می‌کند، داغ می‌شوند و این گرما را به‌صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می‌کنند. در نتیجه، به‌علت گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می‌شود که اساس کار لامپ رشته‌ای است.

نور را می‌توان بدون حرارت زیاد نیز توسط جریان الکتریکی تولید کرد. روش‌های متفاوت تولید نور عبارت‌اند از: الکترولومینسانس، فسفرسانس و فلورسانس.

الکترولومینسانس توسط اجسام جامد به‌هنگام عبور جریان از آن‌ها تولید می‌شود. مقدار نوری که از این طریق تولید می‌شود، کم است؛ بنابراین، از آن بیش‌تر در کارهای نمایشی استفاده می‌کنند. بسیاری از گازها به‌هنگام هدایت جریان یونیزه می‌شوند و تابش‌های نوری تولید می‌کنند. نئون، آرگون و بخار جیوه را می‌توان به‌عنوان مثال نام برد. موارد استفاده‌ی آن را نیز در چراغ‌ها و تابلوهای نئون بالای فروشگاه‌ها دیده‌اید.

هنگامی که یک شعاع الکترونی با بعضی از ترکیبات فسفر و مواد مشابه دیگر برخورد می‌کند، فسفرسانس پدوجود می‌آید. لامپ تصویر تلویزیون بدین گونه عمل می‌کند.

## خلاصه‌ی مطالب

« جریان الکتریکی می‌تواند آثار شیمیایی، بیژ و الکتریکی، حرارتی، نوری و مغناطیسی تولید کند. » « تجزیه‌ی مواد شیمیایی که در اثر عبور جریان الکتریکی حاصل می‌شود، می‌توان در الکترولیز و آبکاری الکتریکی استفاده کرد. » « تجزیه‌ی الکتریکی (الکترولیز) عبارت است از تجزیه‌ی شیمیایی بر اثر عبور جریان از یک محلول. » « آبکاری الکتریکی یکی از موارد الکترولیز است.

« اگر به بعضی از گریدستان‌های مخصوص ولتاژ اعمال شود، نیروی بیژ و الکتریک (فشار) بر گریدستان وارد می‌گردد که باعث تغییر شکل آن می‌شود. » هنگامی که الکتریسیته از یک هادی ضعیف عبور می‌کند، حرارت تولید می‌شود. « از این اثر حرارتی در دسترها، اتوها، خشک‌کننده‌های برقی و غیره استفاده می‌کنند. » همچنین به وسیله‌ی جریان الکتریکی می‌توان نور تولید کرد. این عمل با استفاده از حرارت زیادی که جریان الکتریکی ایجاد می‌کند، صورت می‌پذیرد. کار لامپ معمولی نیز به همین صورت است. همچنین از طریق تولید حرارت گرم، مانند روش به‌کار رفته در الکترولومینسانس، فسفرسانس و فلورسانس می‌توان نور تولید کرد.

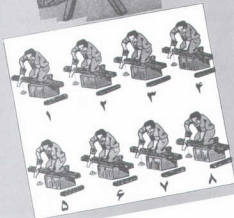
« الکترولومینسانس بر اثر عبور جریان الکتریکی از گازها و بعضی اتمسانس حاصل تولید می‌شود. در تابلوهای نئون، از گاز به‌عنوان هادی استفاده می‌شود. » فسفرسانس هنگامی صورت می‌گیرد که تشعشع یا شعاع الکتریکی با فسفر یا بعضی مواد دیگر برخورد کند. لامپ تصویر تلویزیون بر این اساس کار می‌کند. « فلورسانس ترکیب الکترولومینسانس و فسفرسانس است. بدین ترتیب که گازی یونیزه می‌شود و اشعه‌ی ماوراء بنفش از خود می‌تاباند. این تشعشع با پوشش فسفرسانس برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهد. » عملکرد هر هادی ای که جریان الکتریکی را حمل می‌کند، مانند مغناطیس، عمل می‌کند. به اثر حاصل، اثر الکترومغناطیسی می‌گویند.

## پرسش

- ۱- پنج اثر جریان الکتریکی را نام ببرید.
- ۲- آبکاری برقی چیست؟ عمل تجزیه‌ی مایع به گازهای متشکله‌ای به وسیله‌ی جریان الکتریکی چه نام دارد؟
- ۳- یک هادی خوب حرارت پخش‌تری تولید می‌کند یا یک هادی ضعیف؟ قلی را نام ببرید که اثر حرارتی زیادی داشته باشد.
- ۴- لامپ معمولی چگونه نور تولید می‌کند؟
- ۵- الکترولومینسانس و فسفرسانس چیستند؟
- ۶- از ترکیب الکترولومینسانس و فسفرسانس چه پدیده‌ای ایجاد می‌شود؟
- ۷- در تابلوهای تون از یک ..... به‌عنوان هادی استفاده شده است.
- ۸- تفاوت لامپ معمولی و دیگر آثار فوتوالکتریک چیست؟
- ۹- گوشی گریدستانی و اساس چه قانونی کار می‌کند؟ کدام وسایل دیگر نیز بر مبنای این قانون کار می‌کنند؟
- ۱۰- تفاوت بین خاصیت الکترومغناطیسی و الکتریسیته‌ی مغناطیسی چیست؟



توران پنک اسپ پختار



پنک سر تور الکتریکلی با توران پنک اسپ پختار می توان کار ۸ تا ۱۰ متر را انجام داد.

## کار و توان الکتریکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

- ۱- مفهوم کار و توان را توضیح دهد.
- ۲- واحدهای کار و توان الکتریکی را تعریف کند.
- ۳- واحدهای رایج انرژی و توان الکتریکی را نام ببرد.
- ۴- مفهوم تلفات توان را توضیح دهد.
- ۵- راندمان (بازده) را تعریف کند.
- ۶- پهای انرژی مصرفی را محاسبه کند.
- ۷- مقدار حرارت تولید شده در مقاومت‌ها را محاسبه کند.
- ۸- مسائلی مربوط به توان و انرژی و حرارت و راندمان را محاسبه کند.

### اهداف تعاریف کار و توان

همان‌طور که در فصل‌های پیش گفته شد، منظور از منبع تغذیه یک مدار الکتریکی این است که انرژی الکتریکی را برای مصرف کننده تأمین کند. مصرف کننده این انرژی را برای انجام وظایفی به کار می‌برد؛ به عبارت دیگر، مصرف کننده (بار) از انرژی منبع برای انجام کار استفاده می‌کند. در هنگام انجام کار، مصرف کننده انرژی را مصرف می‌کند. به همین علت است که باتری‌ها خالی می‌شوند و به شارژ مجدد نیاز دارند و باید آن‌ها را عوض کرد. مقدار کار انجام‌شده به وسیله مصرف کننده به انرژی‌ای که در اختیار دارد و سرعت استفاده از این انرژی بستگی دارد. به عبارت دیگر، بارهای مختلف با در اختیار داشتن مقدار معین انرژی برای انجام یک کار مساوی، انرژی را در زمان‌های متفاوتی مصرف می‌کنند؛ بنابراین، بعضی از بارها تندتر از سایرین کار می‌کنند. برای این که بدانیم بار با چه سرعتی کار انجام می‌دهد، باید کمیت توان الکتریکی را تعریف کنیم. توان

عبارت است از مقدار کار انجام شده در واحد زمان.

تکته‌ی مهمی که باید همواره در نظر داشت، این است که کار انجام شده در یک مدار ممکن است مفید یا غیرمفید باشد. در هر دو حالت، سرعت انجام کار را بر مبنای توان اندازه می‌گیرند. گردش موتور الکتریکی و همچنین گرمای حاصل از اجزای برقی کار مفید است. از طرف دیگر، گرمای ایجاد شده در سیم‌های رابط و مقاومت‌ها نمونه‌هایی از کار غیرمفیدند؛ زیرا به وسیله این گرما هیچ عمل مفیدی انجام نمی‌شود. هنگامی که توان برای کار غیرمفید مصرف می‌شود، آن را توان تلف شده می‌گویند.

تشکیل آله نشان می‌دهد که برای جبرخاندن موتور یک ساعت الکتریکی، توان بسیار کمی لازم است؛ در صورتی که برای تولید گرما به وسیله اجزای برقی باید توان زیادی مصرف شود.

برای هر خازن موتور کوچک ساعت الکتریکی، توان الکتریکی بسیار کم لازم است که از یک باتری دایمن می‌شود.



ای گرم کردن اجزای گرم‌خانه‌ای اجاق، باید آن الکتریکی زیادی مصرف شود. این توان شبکه‌ی برق در یافت می‌شود.



شکل ۱-۵- میزان توان لازم برای ساعت الکتریکی و اجاق برقی

۱) آمپر از مداری عبور کند، گوئیم توان مصرف‌شده‌ی مدار یک وات است (واحد توان را با  $W$  نمایش می‌دهند).  
توان مکانیکی معمولاً برحسب اسب بخار  $hp$  نیز سنجیده می‌شود. هر اسب بخار معادل ۷۴۶ وات است.

## ۴-۱- معادلات توان

رابطه‌ی توان ( $P = U \cdot I$ ) را به شکل‌های دیگر نیز می‌توان نوشت:

$$P = U \cdot I, \quad U = RI \Rightarrow P = RI \cdot I \Rightarrow \boxed{P = RI^2}$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R} \quad \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

مثال ۱: در مدار شکل ۴-۱ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{9}{5}$$

$$\boxed{R = 1.8 \Omega}$$

$$P = U \cdot I = 9 \times 5$$

$$\boxed{P = 45W}$$



شکل ۴-۱

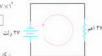
مثال ۲: در مدار شکل ۴-۲ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2V}{2\Omega}$$

$$\boxed{I = 1A}$$

$$P = RI^2 = 2V \times 1^2$$

$$\boxed{P = 2W}$$



شکل ۴-۲

## ۲-۱- واحد کار الکتریکی

واحد کار الکتریکی ژول است و آن مقدار کاری است که اختلاف پتانسیل یک ولت برای جابه‌جایی یک کولن الکتریسیته انجام می‌دهد. اگر اختلاف پتانسیل ۱ ولت باعث عبور ۵ کولن الکتریسیته شود، می‌گوئیم ۵ ژول کار انجام شده است. این مطلب را می‌توان از طریق رابطه  $W = q \cdot U$  نشان داد. در این رابطه،  $W$  انرژی برحسب ژول،  $q$  بار عبوری برحسب کولن و  $U$  اختلاف پتانسیل برحسب ولت است. به خاطر دارید که یک آمپر برابر است با عبور یک کولن الکتریسیته از یک نقطه‌ی مدار در یک ثانیه  $1 = \frac{q}{t}$ . پس، از ترکیب دو رابطه‌ی ذکر شده می‌توان نوشت:

$$W = I \cdot t \cdot U$$

## ۳-۱- واحد توان الکتریکی

توان الکتریکی را قبلاً تعریف کردیم و آن عبارت بود از میزان کار انجام شده در واحد زمان. پس، با توجه به روابط گفته‌شده خواهیم داشت:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = \frac{I \cdot t \cdot U}{t} \Rightarrow \boxed{P = U \cdot I}$$

بنابراین، واحد توان الکتریکی را بدین صورت نیز می‌توان تعریف کرد: اگر با اختلاف پتانسیل ۱ ولت، شدت جریانی معادل

مثال ۳: شدت جریان و توان مصرفی اتوی برقی شکل ۸-۴ را محاسبه کنید.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

$$P = RI^2 = 10 \times 10^2$$

$$P = 1000 \text{ W}$$



شکل ۸-۴

مثال ۴: ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۸-۵ را محاسبه کنید.

$$U = RI = 2 \times 4$$

$$U = 8 \text{ V}$$

$$P = RI^2 = 2 \times 4^2$$

$$P = 32 \text{ W}$$



شکل ۸-۵

### ۸-۵-۵ تلفات توان

توان مصرف‌شده در یک مدار، نشان‌دهنده کار انجام‌شده در واحد زمان در آن مدار است ولی باید در نظر داشت که همه‌ی توان مصرفی صرف انجام کار مفید نمی‌شود بلکه به‌علت وجود مقاومت الکتریکی در سیم‌های رابط، منبع ولتاژ و بار، توان اتلاف خواهد شد. باید تلاش کرد که در هر مدار الکتریکی مقدار توان تلف‌شده به حداقل برسد.

تلفات توان را می‌توان از رابطه‌ی  $\Delta P = RI^2$  محاسبه

کرد. در این رابطه،  $\Delta P$  تلفات توان برحسب وات و  $R$  مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط و مقاومت داخلی منابع (و در مورد الکترودموتورها مقاومت سیم‌پیچ‌ها برحسب اهم) و  $I$  شدت جریان عبوری برحسب آمپر است. کاهش توان تلف‌شده از دو طریق امکان‌پذیر است؛ ۱- کم کردن شدت جریان، ۲- کاهش مقاومت سیم‌های رابط.

۸-۵-۵-۱ کاهش کم کردن شدت جریان: چون شدت جریان عبوری به توان مصرف‌کننده بستگی دارد، پس با اعمال ولتاژ کمتر می‌توان اتلاف توان را کاهش داد ولی مصرف‌کننده دارای توان نامی نیست و کار مورد نظر را انجام نخواهد داد؛ بنابراین، کاهش ولتاژ روش مناسبی نیست.

۸-۵-۵-۲ کاهش مقاومت سیم‌های رابط: با انتخاب سطح مقطع و جنس مناسب سیم می‌توان مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط را کاهش داد. در این صورت، تلفات توان  $I^2 R$  به کم‌ترین مقدار کاهش می‌یابد. در بعضی از دستگاه‌های الکتریکی مانند اتو و بخاری برقی، گرمای ایجاد شده به‌وسیله‌ی مقاومت توان مفید است و نمی‌توان آن را توان تلف‌شده در نظر گرفت. مثال ۵: در شکل ۸-۶ توان مفید لایب را محاسبه کنید.

$$P = RI^2$$

$$P = 10 \times 2^2$$

$$P = 40 \text{ W}$$



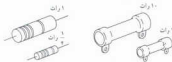
شکل ۸-۶

مثال ۶: در شکل ۸-۷ تلفات توان در مقاومت ۱۰ اهمی را محاسبه کنید.

$$\Delta P = RI^2$$

$$\Delta P = 10 \times 2^2$$

$$\Delta P = 40 \text{ W}$$



شکل ۸-۴: چند مقاومت تولیدی کارخانه‌های مختلف

مثال ۷: شدت جریان مجاز (قابل تحمل) برای مقاومت ۱ اهم با توان مجاز ۴ وات چه قدر است؟

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = 2A \quad \text{می‌دهد:} \quad I = 2A$$

در صورتی که جریان عبوری از مقاومت از ۲ آمپر تجاوز کند، مقاومت صدمه می‌بیند و به اصطلاح می‌سوزد.

## ۸-۷ میزان توان لامپ رشته‌ای (معنوی)

لامپ معنوی از یک فیلامان از جنس تنگستن - که در حباب شیشه‌ای قرار دارد - تشکیل شده است. وقتی به لامپ ولتاژی اعمال شود، جریانی از رشته‌ی داخلی عبور می‌کند و سبب مصرف توان  $I^2 \cdot R$  در آن می‌شود. گرمای حاصل از مصرف این توان به حدی است که فیلامان لامپ داغ می‌شود، به رنگ سفید درمی‌آید و از خود نور می‌تاباند. هرچه رشته بیش‌تر گرم شود، توری که از آن می‌تابد بیش‌تر است. به این ترتیب، برای تقسیم‌بندی لامپ‌های الکتریکی از توان مصرفی آن‌ها، که باعث گرما و نهایتاً نور می‌شود - استفاده می‌کنند. کارخانه‌های تولیدکننده‌ی لامپ نیز مقدار توان گرمایی  $I^2 \cdot R$  را برحسب وات و ولتاژ نامی روی لامپ ثبت می‌کنند. هر چه میزان توان مصرفی لامپ‌ها بیش‌تر باشد، مقدار توری که از خود می‌تابانند زیادتر خواهد بود.

در شکل ۸-۹ میزان توان مصرفی چند لامپ رشته‌ای را که همگی با ولتاژ ۱۱۰ ولت تغذیه می‌شوند، مشاهده می‌کنید.

مثال ۸: شدت جریان و مقاومت الکتریکی هر یک از لامپ‌های شکل ۸-۹ را در صورتی که ولتاژ نامی همدی آن‌ها ۱۱۰ ولت باشد، محاسبه کنید.



شکل ۸-۵

با توجه به ترمین‌های ۵ و ۶ درمی‌یابیم که  $I^2 \cdot R$  گاهی توان مفید است (در لامپ) و در بیش‌تر مواقع به صورت حرارت و غیرمفید (در سیم‌های رابط) به هدر می‌رود.

## ۸-۶ توان مجاز مقاومت‌ها

می‌دانیم که در یک مقاومت اگر شدت جریان از حد معینی بالاتر رود، با حرایی یا از بین رفتن مقاومت و به اصطلاح سوختن آن مواجه خواهیم شد. این حرارت را توان  $I^2 \cdot R$  ایجاد می‌کند که آن را توان تلف شده، برحسب وات می‌دانیم. بنابراین، هر مقاومت دارای یک حداکثر توان یا توان مجاز است که نمودار حرارت ایجاد شده به وسیله‌ی  $I^2 \cdot R$  قبل از سوختن و از بین رفتن است. این به آن معناست که یک مقاومت با توان مجاز برابر ۱ وات اگر در مداری قرار گیرد که توان مصرفی در آن  $(I^2 \cdot R)$  بیش‌تر از ۱ وات باشد، خواهد سوخت. اگر توان مجاز یک مقاومت را بدانیم و بخواهیم ماکزیمم شدت جریانی را که به وسیله‌ی مقاومت قابل تحمل است پیدا کنیم، می‌توانیم از رابطه‌ی زیر استفاده کنیم.

$$P = I^2 \cdot R, \quad I^2 = \frac{P}{R}, \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

معمولاً اندازه‌ی قدرت روی مقاومت‌ها نوشته نمی‌شود اما از روی اندازه‌ی فیزیکی آن‌ها قابل تشخیص است. اندازه‌های فیزیکی استفاده شده برای ۱ وات نه فقط بسته به نوع آن متغیر است بلکه تولیدات کارخانه‌های مختلف نیز قریب می‌کنند. پس ممکن است تشخیص آن دشوار باشد؛ بنابراین، باید فهرست مشخصات مقاومت‌های تولیدی کارخانه‌های مختلف را کنترل کرد.

و توان جذب‌شده توسط لامپ چه قدر می‌شود؟

$$P = U \cdot I \Rightarrow 220 = 220 \times I \rightarrow I = \frac{220}{220} \Rightarrow I = 1/1 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{1/1} \Rightarrow R = 220 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{180}{220} \Rightarrow I = 0/773 \text{ A}$$

$$P = RI^2 = 220 \times 0/773^2$$

$$P = 130 \text{ W}$$

پس، در اثر کاهش ولتاژ از ۲۲۰ ولت به ۱۸۰ ولت جریان و توان به ترتیب به میزان ۷۷٪ و ۱۳۰ وات تقلیل می‌یابد و روشنایی لامپ از روشنائی عادی کم‌تر می‌شود.

### ۸-۳- تقسیم‌بندی وسایل الکتریکی (گرمایا)

دانشیم که میزان توان یک مقاومت با یک لامپ الکتریکی نشان‌دهنده‌ی گرمای ایجادشده است. اگر چه میزان توان همیشه مقدار گرما را نشان می‌دهد ولی در عمل، معنای آن برای وسایل مختلف متفاوت است.

**پیش‌تر وسایل الکتریکی** - به‌خصوص وسایلی که گرما در به‌کار انداختن آن‌ها مؤثر است - از روی میزان توان درجه‌بندی می‌شوند؛ مانند: اتو، شستر، بخاری‌های برقی، اجاق‌های برقی و غیره. در این گونه وسایل، هر چه میزان توان حرارتی پیش‌تر باشد، گرمایی به‌وجود آمده پیش‌تر است. این به آن معنا است که مثلاً یک بخاری برقی ۱۵۰۰ واتیی پیش‌تر از یک بخاری برقی ۱۰۰۰ واتیی گرما تولید می‌کند و مسلماً می‌تواند محیط بزرگ‌تری را گرم کند. البته همیشه وسایلی که بالاترین میزان توان را دارند، بهترین نخواهند بود؛ مثلاً کارخانه‌ها می‌توانند کرسی‌هایی با توان ۱۰۰۰۰ وات بسازند ولی این کرسی‌ها آدم را گرم نخواهند کرد بلکه در یک چشم به‌هم‌زدن او را می‌سوزانند! شکل ۸-۱۰ مقایسه توان‌های متداول چند مصرف‌کننده‌ی الکتریکی (گرمایا) را نمایش می‌دهد.

### ۸-۴- توان مفید و راندمان (بازده) الکتروموتور

در الکتروموتورها میزان توان مفید - که به‌صورت مکانیکی ارائه می‌شود - به مقدار توان تلف‌شده در سیم‌پیچ‌ها ( $I^2 R$ )



شکل ۸-۱۰- توان مصرفی چند لامپ

$$100 \text{ W لامپ } P = U \cdot I \Rightarrow 100 = 110 \times I$$

$$I = 0/91 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{0/91}$$

$$R = 121 \Omega$$

$$75 \text{ W لامپ } P = U \cdot I \Rightarrow 75 = 110 \times I$$

$$I = 0/68 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{0/68}$$

$$R = 161 \Omega$$

$$40 \text{ W لامپ } P = U \cdot I \Rightarrow 40 = 110 \times I$$

$$I = 0/36 \text{ A}$$

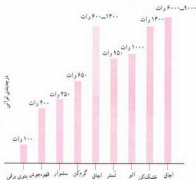
$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{0/36}$$

$$R = 305/55 \Omega$$

با توجه به مثال ۸ درمی‌یابیم که با ولتاژ ثابت، لامپی با توان پیش‌تر دارای شدت جریان پیش‌تر و مقاومت کم‌تر است و برعکس. پس در صورت افزایش ولتاژ هر لامپی، شدت جریان آن پیش‌تر می‌شود و لامپ می‌سوزد. هم‌چنین، بر اثر کاهش ولتاژ، شدت جریان عبوری کم می‌شود و روشنایی آن نیز کاهش می‌یابد. با استفاده از این خاصیت (تنظیم ولتاژ)، می‌توان نور لامپ‌ها را تغییر داد.

مثال ۹٪ روی لامپی مقایسه ۲۲۰V و ۴۰۰W به چشم می‌خورد. شدت جریان و مقاومت آن را محاسبه کنید.

در صورت کاهش ولتاژ به میزان ۱۸۰ ولت، شدت جریان



شکل ۱۰- مقادیر توان‌های متداول وسایل الکتریکی (گرم‌دار)

قدرت ورودی:  $P_1 = 866 \text{ W}$

$\Delta P = P_1 - P_2 = 866 - 736$

تلفات داخلی:  $\Delta P = 130 \text{ W}$

$P_2 = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P_2}{U} = \frac{736}{220}$

$I = 3.34 \text{ A}$

## ۱۰-۱- اندازه‌گیری انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی مصرفی مورد نیاز یک کشور به وسیله شرکت‌های برق بزرگ تأمین می‌شود. این انرژی از محل تولید از طریق یک سیستم الکتریکی متشکل از سیم‌ها، کابل‌ها و پست‌ها بین مصرف‌کنندگان توزیع می‌گردد. انتهای این سیستم توزیع انرژی کارخانه‌ها و منازل هستند. شرکت‌های برق که انرژی الکتریکی را عرضه می‌کنند باید از مقدار مصرف مشترکان مطلع باشند. اندازه‌گیری انرژی مصرفی منازل، فروشگاه‌ها و کارخانه‌ها به وسیله‌ای دستگاهی به نام کنتور برق انجام می‌شود. هر مشترک بر اساس مقدار کاری که به وسیله‌ای انرژی الکتریکی انجام داده است، باید مبلغی پول پرداخت کند. می‌دانیم که سرعت کار انجام

پستیگی دارد (R) مقاومت سیویسج‌ها و شدت جریان عبوری است. بدین معنا که هر قدر R کمتر باشد، توان مفید کاهش می‌یابد؛ بنابراین، در الکتروموتورها سعی بر این است که مقدار توان تلف‌شده کم باشد. البته به غیر از R، تلفات دیگری در الکتروموتورها وجود دارد که آن‌ها را در درس ماشین‌های الکتریکی در سال بعد به طور مشروح بیان خواهیم کرد. معمولاً در روی پلاک مشخصات الکتروموتورها، توان مفید برحسب اسب بخار و راندمان به درجده نوشته می‌شود. از این طریق، توان الکتریکی الکتروموتور و تلفات داخلی آن را بدراحتی محاسبه می‌کنند. با ذکر تعریف مطلب روشن‌تر می‌شود (راندمان، نسبت توان مفید  $P_2$  به توان ورودی الکتروموتور  $P_1$ ) است که آن را با حرف یونانی  $\eta$  (eta) نمایش می‌دهند.

مثال ۱۰-۱: توان مفید الکتروموتوری ۱ اسب بخار و راندمان آن ۸۵ درصد است. توان ورودی و تلفات داخلی آن را محاسبه کنید. در صورتی که ولتاژ این الکتروموتور ۲۲۰ ولت باشد، شدت جریان چقدر است؟

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1 \times 736}{0.85}$$

شده را بر حسب وات اندازه می گیرند. بنابراین، برای محاسبه ی کل کار انجام شده باید زمان مورد مصرف را در توان ضرب کرد؛ مثلاً اگر یک لامپ ۱۰۰ واتی مدت یک ساعت روشن باشد، انرژی مصرفی لامپ  $100 \times 1 = 100$  وات = ساعت می شود. وات = ساعت واحد کوچکی است؛ به همین دلیل، به جای آن از کیلووات = ساعت استفاده می کنیم. بر این اساس، انرژی مصرفی لامپ مورد مثال، برابر  $100 \times 1 = 0.1 \text{ kWh}$  است.

## ۱۱-۱۱ محاسبه ی قیمت برق مصرفی

برای محاسبه ی قیمت انرژی مصرفی کل، کافی است ابتدا مقدار انرژی مصرفی هر وسیله ی الکتریکی را محاسبه و سپس با هم جمع کنیم. به این ترتیب، انرژی مصرفی کل به دست می آید. آن گاه انرژی مصرفی کل را در قیمت هر  $\text{kWh}$  ضرب می کنیم تا بهای انرژی مصرفی محاسبه شود.

مثال ۱۱-۱ اگر ۵ لامپ ۱۰۰ واتی روزانه ۵ ساعت، یک اتوی زغالی ۱ کیلوواتی روزانه ۱ ساعت و یک دستگاه تلویزیون ۵۰ واتی روزانه ۵ ساعت روشن باشند، در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت ۱۰ ریال باشد، هزینه ی انرژی مصرف کل مصرف کننده ها در یک ماه چقدر است؟

$$W_1 = P_1 \times t_1 = 5 \times 100 \times 5 = 2500 \text{ Wh} = 2.5 \text{ kWh}$$

$$W_2 = P_2 \times t_2 = 1 \times 1 = 1 \text{ kWh}$$

$$W_3 = 50 \times 5 = 250 \text{ Wh} = 0.25 \text{ kWh}$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 2.5 + 1 + 0.25 = 3.75 \text{ kWh}$$

انرژی مصرفی هر روز

$$W = 3 \times 3.75 = 13.5 \text{ kWh}$$

$$13.5 \times 10 = 135 \text{ ریال}$$

## ۱۲-۱۲ محاسبه ی انرژی حرارتی

انرژی حرارتی در وسایل گرمازا مانند آب گرم کن و کتری رقی را بر حسب کالری محاسبه می کنند. برای تولید یک کالری گرما  $1/18$  ژول انرژی الکتریکی نیاز است. پس برای تولید  $Q$  کالری حرارت،  $Q/18$  ژول مورد نیاز خواهد بود؛ بنابراین، خواهیم داشت:  $W = Q/18$ . این رابطه را به شکل زیر می توان نوشت:

$$W = P \cdot t = R I^2 t$$

$$Q = 0.18 R I^2 t$$

## خلاصه ی مطالب

«واحد کار الکتریکی ژول است. یک ژول کار عبارت است از عبور یک کولن الکتریسیته در اختلاف پتانسیل

۱ ولت.

«توان نشان دهنده ی سرعت انجام کار است و آن مقدار کاری است که در واحد زمان انجام می شود و واحد

آن وات است. وات عبارت است از ۱ ژول کار در مدت ۱ ثانیه؛ به بیان دیگر، ۱ وات توان مصرف شده است هنگامی

که اختلاف پتانسیل ۱ ولت، شدت جریان به مقدار ۱ آمپر را از مدار عبور دهد.

«واحد توان مکانیکی اسب بخار (hp) است. هر اسب بخار معادل ۷۳۵ وات است.

«توان را می توان به وسیله ی سه معادله ی زیر بر حسب ولتاژ، شدت جریان و مقاومت محاسبه کرد.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2 \cdot R \quad P = U \cdot I$$



« از سه معادله‌ی گفته‌شده می‌توان به‌صورتی دیگر برای به‌دست آوردن ولتاژ، شدت جریان یا مقاومت استفاده کرد.

$$U = \frac{P}{I} \quad , \quad R = \frac{U^2}{P} \quad , \quad R = \frac{P}{I^2} \quad , \quad I = \frac{P}{U} \quad , \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad , \quad U = \sqrt{PR}$$

« کار انجام‌شده در یک مدار الکتریکی ممکن است مفید یا غیر مفید باشد. وقتی توان برای کار غیر مفید به‌کار رود، آن را توان تلف‌شده می‌خوانند.

« توان تلف‌شده غالباً به‌صورت گرماست که آن را توان گرمایی،  $I^2 \cdot R$  می‌نامند.

« میزان توان مجاز مقاومت‌ها غالباً برای «۳۰ درجه سانتی‌گراد و در هوای آزاد داده می‌شود.

« میزان توان لامپ‌های برق به‌تناسب با ر شدیدی مقاومت داخل آن‌ها بیان می‌شود. هرچه میزان این توان بیش‌تر باشد، مقاومت کم‌تر است و برعکس.

« مقدار نور ایجاد شده به‌وسیله‌ی یک لامپ، به‌میزان توان آن لامپ بستگی دارد. هرچه میزان این توان بیش‌تر باشد، نور بیش‌تری تولید می‌شود.

« شرکت‌های تولیدکننده‌ی انرژی الکتریکی برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی و دریافت بهای آن، از مشترک-

مقدار کار الکتریکی را در نظر می‌گیرند. واحد اصلی انرژی الکتریکی وات - ساعت است اما از کیلووات - ساعت (کده وات - ساعت) بیش‌تر استفاده می‌شود.

« برای تولید یک کالری گرما، ۳/۸ ژول انرژی الکتریکی مورد نیاز است.

## پرسش

۱- واحدهای زیر را تعریف کنید.

ژول، وات، وات - ساعت و کیلووات - ساعت.

۲- یک کیلو وات - ساعت چند ژول است؟

۳- برای  $P$ ،  $U$  و  $I$  یک نمودار «بی» رسم کنید.

۴- یک موتور ۱۲۹۱ وات توان مصرف می‌کند. توان آن را بر حسب hp و kW بیان کنید.

$$1.74 \text{ hp} \text{ و } 1.74 \text{ kW}$$

۵- اگر بخواهیم برای روشن کردن اتاق نور بیش‌تری تولید کنیم، توان لامپ به‌کار رفته باید گوار باشد یا

بیش‌تر؟ چرا؟

۶-  $I^2 R$  تلف‌شده چه مفهومی دارد؟

۷- معادله‌ی پیدا کردن  $P$ ، اگر  $U$  و  $I$  معلوم باشند چیست؟

۸- معادله‌ی پیدا کردن  $U$ ، اگر  $P$  و  $R$  معلوم باشند چیست؟

۹- معادله‌ی پیدا کردن  $I$ ، اگر  $P$  و  $R$  معلوم باشند چیست؟

۱۰- معادله‌ی پیدا کردن  $R$ ، اگر  $P$  و  $U$  معلوم باشند چیست؟

## تصریح

۱- لامپ با ۲۲۰ ولت کار می‌کند و توان مصرفی آن ۱۵۰ وات است. مقاومت فیلامن آن را حساب کنید.

$$\text{ج } 220/150$$

۲- یک لامپ ۲۰ وات با ۱۲ ولت روشن می‌شود. شدت جریان این لامپ را بدست آورید.

$$\text{ج } 2/33A$$

۳- ماکزیم ولتاژی را که می‌توان به دو سر یک مقاومت ۱۰۰۰ اهمی با توان ۱۰ وات وصل کرد، چه قدر است؟

$$\text{ج } 100V$$

۴- توان مجاز مقاومت ۱ کیلو اهمی ۱۰ وات است. جریان قابل تحمل آن چه قدر است؟

$$\text{ج } 0/1A$$

۵- یک لامپ ۱۰۰ وات و ۲۲۰ ولتی را به ولتاژ ۱۰۰ ولت وصل می‌کنیم. شدت جریان و توان لامپ را در این حالت حساب کنید.

$$\text{ج } 0/45A \text{ و } 20W$$

۶- یک اتوی برقی ۲۲۰ ولتی، ۵۵۰ وات توان مصرف می‌کند. مقاومت سیم‌های داخل آن چند اهم است؟ اگر ولتاژ ۱۵ درصد کاهش یابد، توان و درجه‌ی حرارت اتو چند درصد کاهش می‌یابد؟

$$\text{ج } 220/550 \text{ و } 88\%$$

۷- در مداري با یک فیوز ۶ آمپری، چند لامپ ۴۰ واتي، ۲۲۰ ولتي می‌تواند روشن باشند، بدون این‌که جریان برق قطع شود؟ اگر از یک اتوی برقی ۷۵۰ واتي استفاده شود، چند عدد از لامپ‌ها را می‌توان روشن کرد؟

$$\text{ج } 12 \text{ لامپ و } 23 \text{ لامپ}$$

۸- یک موتور الکتریکی، در مدت یک دقیقه و ۱۰ ثانیه و ۳۵۰۰۰ ژول انرژی مصرف کرده است. توان دریافتی آن چه قدر است؟ در صورتی که راندمان این موتور ۸۰٪ باشد، قدرت مفید آن چند اسب بخار است؟

$$\text{ج } P_1 = 500W \text{ و } P_2 = 400hp$$

۹- اگر موتور مستندی ۸ با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار کند، شدت جریان عبوری آن را حساب کنید.

$$\text{ج } I = 2/77A$$

۱۰- یک جرم‌فیل الکتریکی در مدت ۳ دقیقه ۱۰ تن بار را جابه‌جا کرده است. اگر توان این جرم‌فیل ۸۰۰۰ وات باشد، برای جابه‌جایی یک تن بار چه مقدار انرژی الکتریکی را به مصرف می‌رساند؟

$$\text{ج } 24000 \text{ ژول}$$

۱۱- انرژی مصرفی خانواده‌ای در یک سال ۱۶۰۰ کیلووات ساعت بوده است. تعیین کنید این خانواده به‌طور متوسط در هر ماه بابت مصرف انرژی الکتریکی چه مبلغی پرداخت کرده است؟ در صورتی که بهای هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۲۰ ریال باشد.

$$\text{ج } 2000 \text{ ریال}$$

۱۲- در یک ساختمان چهار طبقه، انرژی الکتریکی مصرفی طبقات در یک ماه به‌ترتیب زیر است. طبقه‌ی اول ۱۴۰ کیلووات ساعت، طبقه‌ی دوم ۷۰ کیلووات ساعت، طبقه‌ی سوم ۴۰ کیلووات ساعت و طبقه‌ی چهارم ۹۵ کیلووات ساعت. اگر قیمت هر کیلووات ساعت ۵ ریال باشد، تعیین کنید هر طبقه چه قدر باید بابت انرژی الکتریکی مصرفی بپردازد؟

$$\text{ج } 75 \text{ ریال و } 200 \text{ ریال و } 350 \text{ ریال و } 700 \text{ ریال}$$

۱۳- راهبندی یک ساختمان پنج طبقه با ۱۰۰ لامپ ۱۰۰ واتن روشن می‌شود. اگر انرژی مصرفی این لامپ‌ها در یک ماه ۳۰ کیلووات ساعت باشد، تعیین کنید هر لامپ به‌طور متوسط در طول یک روز چه مدت روشن بوده است؟ تأییداً در صورتی که هر کیلووات ساعت ۵ ریال انرژی داشته باشد، مبلغ پرداختی هر طبقه به‌طور متوسط در یک ماه چقدر است؟

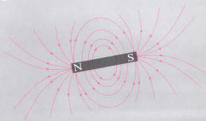
ریال ۴۰ و یک ساعت (ج)

۱۴- از یک اتوی رقی به مقاومت ۶۵ اهم، جریانی به شدت ۳ آمپر به مدت ۵ دقیقه عبور می‌کند. مقدار گرمای ایجاد شده در اتو را برحسب کیلوکالری محاسبه کنید.

۴۴/۱۹kcal (ج)

۱۵- یک آب‌گرم‌کن الکتریکی در مدت ۴ ساعت ۴۰ لیتر آب ۱۰ درجه را به ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رساند. در صورتی که توان این آب‌گرم‌کن ۱۵۰۰ وات باشد برای گرم کردن این مقدار آب، چه مقدار انرژی الکتریکی مصرف کرده است؟ برای گرم کردن هر لیتر آب چه مقدار انرژی صرف شده است؟ مقدار انرژی مصرفی هر لیتر آب به ازای یک درجه‌ی سانتی‌گراد چقدر بوده است؟

۰/۰۶kWh و ۰/۰۷۵kWh و ۰/۰۲kWh (ج)



## مغناطیس و الکترومغناطیس

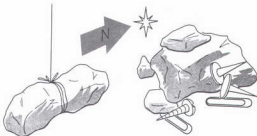
هدف های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش آموز انتظار می رود:

- ۱- میدان الکتریکی و میدان مغناطیس بار الکتریکی الکترون را شرح دهد.
- ۲- مولکول مغناطیس را شرح دهد.
- ۳- اجسام مغناطیس را نام ببرد.
- ۴- روش های ساختن یک مغناطیس و از بین بردن خاصیت مغناطیس یک آهن ربا را شرح دهد.
- ۵- خطوط میدان و میدان مغناطیس را تعریف کند.
- ۶- پوشش مغناطیس را شرح دهد.
- ۷- الکترومغناطیس را تعریف کند.
- ۸- اثر الکترومغناطیس را در یک سیم بیان کند.
- ۹- چگونگی تعیین جهت میدان در یک سیم را بیان کند.
- ۱۰- اثر الکترومغناطیس در دو سیم جریان دار را شرح دهد.
- ۱۱- اثر الکترومغناطیس را در یک حلقه شرح دهد.
- ۱۲- اثر الکترومغناطیس را در بوبین شرح دهد و دلیل قوی تر شدن میدان مغناطیس بوبین با هسته ای مغناطیس را توضیح دهد.
- ۱۳- کاربردهای مغناطیس را نام ببرد و ساختمان ساده ای هر یک از وسایلی را که با مغناطیس کار می کنند، به طور مختصر توضیح دهد.
- ۱۴- تراکم خطوط مغناطیس را در اطراف یک سیم، مرکز یک حلقه و داخل بوبین محاسبه کند.
- ۱۵- نیروی محرکه ای مغناطیس یک بوبین را حساب کند.

## ۹-۱- سنگ آهن مغناطیس

در حدود دو هزار سال پیش یونانیان قدیم سنگ آهن مغناطیس را کشف کردند. چون این سنگ ها آهن را جذب کردند و در ناحیه ی مغز یا در آسپای صغیر پیدا شده بود، آن ها را مغناطیس خواندند. بعدها کشف شد که اگر این سنگ را به وسیله ی

یک نخ آویزان کنند، به طوری شود جنوب و شمال را مشخص می کند. به همین دلیل، آن را سنگ راهنما یا آهن ربا نامیدند. پس آهن ربا در اصل یک مغناطیس طبیعی است که اجسام مغناطیس را جذب می کند. فرمول شیمیایی سنگ آهن مغناطیس  $Fe_3O_4$  است.



شکل ۹-۱ سنگ آهن مغناطیسی

### الکترومغناطیس می گویند.

می دانیم که الکترون دارای بار منفی است. این بار خطوط نیروی الکتریکی ای تولید می کند که از تمام جهات به الکترون وارد می شوند. بار گزنده نیز به علت حرکت وضعی، در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می کند. این میدان به صورت دایره هم مرکز در دور الکترون تشان داده می شود. در هر نقطه خطوط نیروی الکتریکی و خطوط نیروی مغناطیسی بر یکدیگر عمودند. به ترکیب این دو میدان، میدان الکترومغناطیسی می گویند.



میدان الکتروستاتیکی ساکن



میدان مغناطیسی



میدان الکترومغناطیسی

شکل ۹-۲ میدان الکترومغناطیسی

### ۹-۲ میدان الکترومغناطیسی

نیروهای الکتریکی و مغناطیسی به یکدیگر مربوطند ولی کاملاً با هم تفاوت دارند. نیروهای مغناطیسی و نیروهای الکترواستاتیک تا هنگامی که حرکتی وجود نداشته باشد، بر یکدیگر بی اثرند ولی در صورتی که میدان نیروی هر یک از آن ها متحرک باشد، اثرات متقابل برهم می گذارند. چون الکترون کوچکترین جزء هر اتم است، برای تشریح رابطه بین الکتریسیته و مغناطیس نظریه ای به وجود آمده است که به آن نظریه ی

دارند، این سوال پیش می آید که چرا همدی اجسام خاصیت مغناطیسی (آهن ربای) ندارند. پاسخ این است که هر جفت الکترون در مدارها دارای گردش وضعی مخالف یکدیگرند. لذا میدان های

### ۹-۳ مولکول مغناطیسی

عناصر آهن، نیکل، کبالت، گادولیم و دیسپروسیم تنها انواع فلزات مغناطیسی طبیعی هستند ولی چون همدی عناصر الکترون

## ۹-۴- خواص مغناطیسی اجسام

اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف - اجسام مغناطیسی، ب - اجسام غیر مغناطیسی.

**اجسام مغناطیسی:** اجسامی که خواص آهن‌ربایی از خود نشان می‌دهند، دارای خاصیت مغناطیسی یا آهن‌ربایی هستند. از جمله این مواد آهن و آلیاژهای آهن هستند که به آن‌ها مواد **فَرّ مغناطیسی** می‌گویند. فَرّ در یونانی به معنی آهن است.

اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که در شرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به‌طور یراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یک‌دیگر را خنثا می‌کنند؛ بنابراین، خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل ۹-۵ مولکول‌های مغناطیسی یک فَرّ مغناطیس شده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۹: فَرّ مغناطیس شده

اگر قطعه‌ای مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم‌جهت قرار بگیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با یک‌دیگر جمع شده و در این صورت فَرّ مغناطیس می‌شود. اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم و زیاد کرد.

شکل ۶-۹: مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فَرّ مغناطیس را نشان می‌دهد.

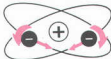
**اجسام غیر مغناطیسی:** برخی از اجسام تقریباً خاصیت مغناطیسی ندارند. این اجسام را **اجسام غیر مغناطیسی** می‌نامند؛

مغناطیسی مخالف هم ایجاد می‌کنند که یک‌دیگر را خنثا می‌سازند. ممکن است این فکر پیش آید که فقط اجسامی که تعداد الکترون‌هایشان فرد است، خاصیت مغناطیسی دارند. پاسخ این است که اگر این اتم‌ها می‌توانستند به‌صورت مجزا باشند، این فکر درست بود ولی هنگامی که اتم‌ها با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند تا مولکول تشکیل دهند، خود را به‌صورتی درمی‌آورند که با الکترون والانس داشته باشند و در نتیجه، جرخش‌های وضعی الکترون‌ها در اغلب اجسام، میدان مغناطیسی هم‌دیگر را خنثا می‌کنند. در شکل ۷-۹ حرکت وضعی جفت الکترون‌ها اثر مغناطیسی آن‌ها خنثا می‌شود.



شکل ۷-۹: اتم غیر مغناطیس

بتأ به دلائلی، این حالت در فُرّات گفته شده در بالا وجود ندارد. هنگامی که اتم‌های این فُرّات با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند، به‌صورت یون درمی‌آیند و الکترون‌های والانس‌شان را طوری به اشتراک می‌گذارند که بسیاری از میدان‌های مغناطیسی حاصل از جرخش‌های وضعی الکترون‌ها یک‌دیگر را خنثا نمی‌کنند، بلکه به هم اضافه می‌شوند. این عمل باعث به‌وجود آمدن ذرات مغناطیسی در فَرّ می‌شود. به ذرات مغناطیسی، **مولکول‌های مغناطیسی** نیز می‌گویند. مولکول‌های مغناطیسی عیناً مانند مغناطیس‌های کوچک عمل می‌کنند. اگر چه آهن، نیکل و کبالت تنها اجسام مغناطیسی طبیعی هستند ولی با به‌کارگیری روش‌های مخصوص می‌توان ترکیباتی ساخت و به آن‌ها خاصیت آهن‌ربایی داد. در شکل ۸-۹ در مولکول‌های مغناطیسی حرکت وضعی الکترون‌ها طوری است که میدان‌های مغناطیسی یک‌دیگر را خنثا نمی‌کنند؛ بنابراین، مولکول خاصیت مغناطیسی دارد.



شکل ۸-۹: اتم مغناطیس

مانند روی و چوب. اجسام غیرمغناطیسی به دو گروه پارامغناطیسی و دیامغناطیسی تقسیم می‌شوند.



شکل ۹-۶ فلز مغناطیسی شده

هرگاه چند مادی غیرمغناطیسی را به یک آهن‌ریا بسیار قوی نزدیک کنیم، برخی از آن‌ها به آرامی جذب و برخی دیگر به آرامی دفع می‌شوند. البته این جذب و دفع‌ها ممکن است آنقدر ضعیف و کند باشد که به چشم دیده نشود. مادی که فقط به مقدار خیلی جزئی جذب آهن‌ریا می‌شوند، به مواد پارامغناطیسی موسوم اند؛ مانند چوب، اکسیژن، آلومینیوم و پلاتین. مادی که فقط به مقدار خیلی جزئی از آهن‌ریا دفع می‌شوند، مواد دیامغناطیسی نامید، می‌شوند؛ مانند روی، شکر، طلا، جیوه.

## ۹-۵ آهن‌ریاهای مصنوعی

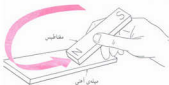
جسم آهنی (فرومغناطیسی) را می‌توان با منظم کردن مولکول‌های مغناطیسی‌اش مغناطیسی کرد. بهترین راه انجام این عمل، وارد کردن نیروی مغناطیسی است. این نیرو بر میدان مغناطیسی هر مولکول اثر کرده و همدی‌ان‌ها را در یک جهت منظم می‌کند. ساخت آهن‌ریاهای مصنوعی به دو روش امکان‌پذیر است: ۱) مالش مغناطیسی، ۲) جریان الکتریکی.

مالش مغناطیسی: هنگامی که مغناطیسی به سطح یک آهن مغناطیس نشده (طبق شکل ۹-۷) مالش داد، نمود میدان مغناطیسی، مولکول‌های آهن را مرتب می‌کند و آهن مغناطیسی می‌شود.

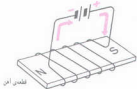
جریان الکتریکی: اگر سیمی را به دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن را به یک منبع ولتاژ DC وصل

کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل ۹-۸ چگونه تولید قطعه‌ای مغناطیسی به وسیله‌ی جریان الکتریکی (DC) را نمایش می‌دهد.

اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن مغناطیس دائمی می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست بدهد، مغناطیس موقتی نام دارد. آهن سخت و فولاد مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به کار رفته می‌شود.



شکل ۹-۷ مغناطیس در اثر مالش مغناطیس



شکل ۹-۸ کاربرد جریان DC برای تولید مغناطیسی

## ۹-۶ روش‌های از بین بردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ریا

برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ریا باید مولکول‌های مغناطیسی آن را دوباره به صورت نامرتب درآوریم تا میدان‌هاشان در خلاف جهت یکدیگر قرار گیرد. این عمل به



## ۹-۷- میدان مغناطیسی زمین

زمین جرمی چرخنده است (حرکت وضعی دارد) و در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. در واقع، در مرکز آن مغناطیسی قرار گرفته که قطب S آن در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی و قطب N آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی است.



شکل ۹-۷-۱: خنای کردن اثر مغناطیسی توسط جریان متناوب (AC)

سه روش انجام می‌گردد: ۱- ضربه‌ی سخت، ۲- گرما، ۳- جریان الکتریکی متناوب.

ضربه‌ی سخت: اگر به یک آهن‌ریا ضربه‌ی سختی وارد کنیم، نیروی وارد شده مولکول‌ها را به شدت تکان می‌دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آن‌ها می‌شود. گاهی اوقات لازم است ضربه را چند بار وارد کنیم.



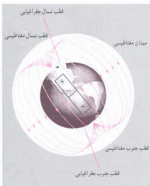
شکل ۹-۷-۲: خنای کردن اثر مغناطیسی آهن‌ریا با زمین ضربه

گرما: اگر آهن‌ریا را گرم کنیم، انرژی حرارتی باعث نوسان مولکول‌های مغناطیسی می‌شود و ترتیبشان را به هم می‌زند.



شکل ۹-۷-۳: خنای کردن اثر مغناطیسی یک آهن‌ریا به وسیله‌ی گرما

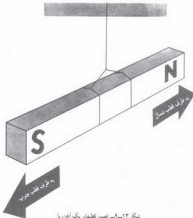
جریان الکتریکی متناوب (AC): اگر مغناطیسی را در میدانی مغناطیسی قرار دهیم که جهت آن به سرعت تغییر می‌کند، نظم مولکول‌ها به هم می‌خورد؛ زیرا مولکول‌ها می‌خواهند از میدان بیرونی بگریزند. میدان مغناطیسی متغیر را می‌توان به وسیله‌ی یک جریان متناوب تولید کرد. این مطلب را در آینده توضیح خواهیم داد.



شکل ۹-۷-۴: میدان مغناطیسی زمین

## ۹-۸ قطب‌های مغناطیسی

خاصیت مغناطیسی آهن‌ریا در همدی نقطه آن یکسان نیست بلکه در دو انتهای آن قوی و در وسط ضعیف است. نواحی‌ای که خاصیت مغناطیسی در آن‌ها زیادتر از قسمت‌های دیگر است، قطب‌های آهن‌ریا یا قطب‌های مغناطیسی نامیده می‌شوند. اگر مقداری براده‌ی آهن را روی یک ورق کاغذ که روی آهن‌ریا قرار گرفته است بپاشیم، بیش‌تر براده‌های آهن در دو قطب آهن‌ریا جمع می‌شوند و باقی‌مانده‌ی آن‌ها خطوط مشخص و معینی را بین دو قطب تشکیل می‌دهند. به همین دلیل، آثار متقابل مغناطیس‌ها را



شکل ۹-۱۳ تعیین قطب‌های یک آهن‌ریا

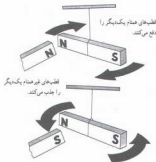
قطب‌های آن‌ها تعیین می‌کنند.

برای تعیین قطب‌های یک آهن‌ریا، طبق شکل ۹-۱۳ آهن‌ریای میل‌های را با یک رشته نخ طوری آویزان می‌کنیم که بتواند به‌طور افقی آزادانه حرکت کند. در این حالت، آهن‌ریا موازنه‌ی هایش را متناسب با میدان مغناطیسی زمین برقرار می‌کند. یک سر مغناطیس که در جهت طرف قطب شمال زمین قرار می‌گیرد، قطب شمال (North) N و انتهای دیگر آن قطب جنوب (South) S نام‌گذاری می‌شود. آهن‌ریاها همیشه در چنین جهتی قرار می‌گیرند. دلیل این امر را در آینده توضیح خواهیم داد.

## ۹-۹ قطب‌های مغناطیسی

آهن‌ریایی که به‌طور آزاد قرار گرفته است، چنان جهت می‌گیرد که قطب N آن به طرف قطب شمال زمین باشد. از این خاصیت برای تعیین جهت می‌توان استفاده کرد. وسیله‌ای که برای تعیین جهت مورد استفاده قرار می‌گیرد، قطب‌نما نام دارد.

قطب‌نما از یک مغناطیس سبک ساخته شده است که می‌تواند آزادانه حرکت کند و یک سر آن همیشه در جهت قطب شمال زمین قرار می‌گیرد. بدون توجه به این که قطب‌نما را چگونه می‌چرخانیم، خط‌های آن همواره قطب شمال زمین را نشان می‌دهد.



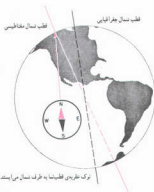
شکل ۹-۱۵ چگونگی جذب و دفع در قطب آهن‌ریزا

## ۹-۱۱ میدان مغناطیسی

با توجه به جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نیروهای خارج شده از قطب‌های مغناطیسی باعث این اثر می‌شوند. البته این رویداد فقط در قطب‌ها اتفاق نمی‌افتد، بلکه نیروی مغناطیسی مغناطیسی را در یک میدان دور می‌گردد. این پدیده را طبق شکل ۹-۱۶ می‌توان هنگام حرکت قطب‌ها در اطراف یک آهن‌ریز مشاهده کرد. در هر موقعیت، در دور آهن‌ریز یک انتهای تقریبی قطب‌ها در جهت قطب مخالف آهن‌ریز قرار می‌گیرد.



شکل ۹-۱۶ میدان مغناطیسی آهن‌ریز



شکل ۹-۱۲ تعیین در قطب زمین توسط قطب‌ها

شکل ۹-۱۲ چگونگی تعیین قطب‌های زمین توسط قطب‌ها را نشان می‌دهد.

## ۹-۱۰ خاصیت جذب و دفع آهن‌ریزا

از آنجا که مغناطیسی همیشه در جهت قطب شمال مغناطیسی زمین قرار می‌گیرد، چنین به نظر می‌رسد که قوانین معینی برای توضیح اثرات مغناطیسی وجود دارد. این قوانین، قوانین جذب و دفع نام دارند. قوانین جذب و دفع مغناطیسی نیز مانند بارهای الکتریکی هستند؛ با این تفاوت که از قطب‌های N و S به جای قطب‌های منفی و مثبت استفاده شده است. بر اساس این قانون قطب‌های همتا یکدیگر را دفع و قطب‌های غیر همتا یکدیگر را جذب می‌کند.

طبق شکل ۹-۱۵ قطب N قطب N دیگر را دفع می‌کند.

قطب S قطب S دیگر را دفع می‌کند.

قطب N قطب S دیگر را جذب می‌کند.

### ۹-۱۳- اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی

هنگامی که دو مغناطیس در مجاورت هم قرار گیرند، میدان‌های مغناطیس آن‌ها بر یکدیگر اثر می‌کنند. با توجه به این که خطوط نیروی مغناطیسی هیچ‌گاه یکدیگر را قطع نمی‌کنند، چگونگی تأثیر متقابل این دو میدان را می‌توان درک کرد. اگر خطوط نیرو هر دو در یک جهت باشند، یکدیگر را جذب می‌کنند و به هم می‌رسند. به همین دلیل است که قطب‌های نامتناهی یکدیگر را جذب می‌کنند.



شکل ۹-۱۱ نیروهای جاذبه بین دو قطب هم‌نام

اگر خطوط نیرو را در جهت‌های مخالف باشند، نمی‌تواند با هم ترکیب شوند و چون نمی‌توانند یکدیگر را قطع کنند، نیروهای مخالف و یکدیگر را دفع می‌کنند. به همین دلیل است که قطب‌های همنام یکدیگر را دفع می‌کنند. این اثر متقابل خطوط نیرو را به وسیله براده‌های آهن نیز می‌توان نشان داد.



شکل ۹-۲۰ نیروهای دفع بین دو قطب همنام

### ۹-۱۴- پوشش مغناطیسی

خطوط نیروی مغناطیسی می‌توانند از اجسام - حتی آن‌هایی که خواص مغناطیسی نیز ندارند - بگذرند. البته بعضی از اجسام در مقابل عبور خطوط نیرو (فلزات) مقاومت می‌کنند. به این خاصیت (مقاومت در برابر عبور خطوط نیرو) رلوکتانس می‌گویند. اجسام مغناطیسی در مقابل عبور خطوط نیرو رلوکتانس خیلی کمی دارند.

هم‌چنین، با قرار دادن قطب‌ها در فاصله‌های دورتر از آهن‌ریا می‌توان مشاهده کرد که این میدان مغناطیسی دورتر از آهن‌ریا نیز وجود دارد. چنان‌چه قطب‌ها را به آرامی از آهن‌ریا دور کنیم، به نقطه‌ای خواهیم رسید که غریبه‌ی قطب‌ها دیگر تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهن‌ریا نیست و دوباره به طرف قطب شمال زمین جذب می‌شود. فضایی را که در آن آهن‌ریا بر اجسام مغناطیسی دیگر اثر می‌گذارد، میدان مغناطیسی می‌گویند.

### ۹-۱۲- خطوط نیرو (فلز - شام)

میدان مغناطیسی یک آهن‌ریا از خطوط نیرویی تشکیل شده است که به بنا به قرار دارد. از قطب N بیرون می‌آیند، در فضا امتداد می‌یابند و به قطب S وارد می‌شوند. این خطوط نیرو یکدیگر را قطع نمی‌کنند و مرتباً از آهن‌ریا دور می‌شوند، هر چه خطوط نیرو به یکدیگر نزدیک‌تر و تعدادشان پیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر است. خطوط نیرو با فشار مغناطیسی را با چ (ای) نشان می‌دهند.



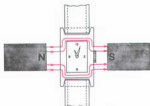
شکل ۹-۱۲ تعداد خطوط نیروی مغناطیسی

وجود خطوط نیرو با پاشیدن براده‌های آهن بر یک سطح صاف و قرار دادن آهن‌ریایی در زیر آن معلوم می‌شود. براده‌های آهن به طور مرتب در طول خطوط نیرو قرار می‌گیرند و جهت‌گیری میدان را نشان می‌دهند. به این خطوط نیرو فلز می‌گویند.



شکل ۹-۱۸ براده‌های ریز آهن خطوط قوای مغناطیسی را نشان می‌دهند.

در نتیجه، خطوط فلز به وسیله‌ی یک جسم مغناطیسی حتی با طی کردن مسیری طولانی جذب می‌شوند. این خاصیت باعث می‌شود که بتوانیم اجسام را به وسیله‌ی پوششی از ماده‌ی مغناطیسی در مقابل خطوط فلز محافظت کنیم. از این روشی برای ساختن ساعت‌های ضد مغناطیس استفاده می‌کنند.



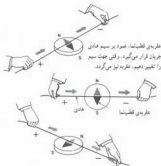
شکل ۹-۲۶ - برش مغناطیسی

## ۹-۱۵ الکترومغناطیس

چون الکترون‌ها به علت حرکت وضعی در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کنند، چنین به نظر می‌آید که انباشتن الکترون‌های اضافی در جسم می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند ولی الکترون‌ها با چرخش‌های وضعی مخالف هم آثار مغناطیسی یک‌دیگر را خنثا می‌کنند. در نتیجه، الکترون‌های ساکن دارای میدان مغناطیسی نیست ولی هنگامی که با اعمال ولتاژی به دو سر سیم‌ها جریان الکتریکی در آن برقرار می‌شود، الکترون‌های جهت گرفته نمی‌توانند با چرخش‌های وضعی مخالفت کنند و اثر مغناطیسی یک‌دیگر را خنثا نمایند. برعکس، چون همه در یک جهت حرکت می‌کنند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با هم جمع می‌شوند. در سال ۱۸۱۹، هانس کریستین اُرسدگ کشف کرد که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند که این میدان بر غریبه‌ی قطب‌نما اثر می‌گذارد.

چون میدان مغناطیسی به دور یک الکترون حلقه‌ای را به وجود می‌آورد، میدان‌های مغناطیسی اطراف الکترون‌های جهت گرفته در یک سیم با یک‌دیگر تشکیل حلقه‌هایی به دور سیم می‌دهند. هر یک از این حلقه‌ها را یک خط نیرو یا یک هائکسول و  $h$  خط نیرو را یک وِبر می‌نامند.

طبق شکل ۹-۲۲ چنانچه موقعیت سیم را تغییر دهیم، غریبه‌ی قطب‌نما با جهت خطوط نیرو منطبق می‌شود. غریبه‌ی قطب‌نما همیشه عمود بر سیم حامل جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان را تغییر دهیم، غریبه‌ی قطب‌نما تغییر جهت می‌دهد.



شکل ۹-۲۲ الکترومغناطیس

اثر الکترومغناطیس بر یک سیم: جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب‌نما و قانون دست راست استفاده کرد. طبق شکل ۹-۲۳ چنانچه قطب‌نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N غریبه‌ی قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان از قانون دست راست نیز استفاده کرد. چنانچه طبق شکل ۹-۲۴ انگشت‌های دست راست را به دور سیم پیچیم، به طوری که انگشت شست

در جهت جریان قرار بگیرد، بسته شدن بقیه‌ی انگشتان جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۲۳- تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قاعده

طبی شکل ۹-۲۵ از این پس برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان، مقطع سیم را — که دایره

است — نشان می‌دهیم. در صورتی که جهت جریان در مقطع سیم از طرف ناظر به طرف صفحه‌ی کاغذ باشد، با علامت (x) و اگر از طرف مقطع سیم به طرف ناظر باشند، با علامت (.) نمایش داده می‌شود. طبق قانون دست راست در مورد (x) جهت میدان موافق عقربه‌ی ساعت و در مورد (.) مخالف حرکت عقربه‌ی ساعت خواهد بود.

جگانه‌ی (تراکم) خطوط نیرو؛ هر چه جریانی که از سیم می‌گذرد بیش‌تر شود، میدان مغناطیسی حاصل قوی‌تر خواهد بود. همان‌طور که در میدان مغناطیسی آهن دیدیم، خطوط نیرو در نزدیکی آهن‌ربا به هم نزدیک‌ترند. این خطوط نیرو در نزدیکی سیم نیز به هم نزدیک‌ترند و هر چه بیش‌تر از سیم دور شوند، از یک‌دیگر فاصله می‌گیرند. در نتیجه، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر می‌شود و هر چه از مرکز سیم دور‌تر می‌شویم، تراکم خطوط ضعیف‌تر می‌شود.



شکل ۹-۲۴- تعیین جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست

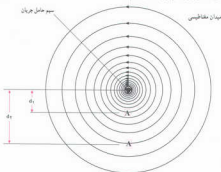


شکل ۹-۲۵- جهت میدان مغناطیسی

خواهیم داشت :

$$B = K \frac{1}{d}$$

در رابطه‌ی فوق،  $K$  ضریبی است که به واحد  $1$  و  $d$  و  $B$  بستگی دارد. در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI)  $1$  بر حسب آمپر و  $d$  بر حسب متر و  $B$  بر حسب تسلا (آمپر بر متر مربع) بیان می‌شود. به این ترتیب،  $K = 2 \times 10^{-7}$  خواهد بود.



شکل ۹-۲۶ تراکم خطوط نیرو اطراف سیم حامل جریان

می‌گذرد به هم نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند؛ زیرا جهت خطوط نیرویشان عکس یکدیگر است. چون خطوط نیرو نمی‌توانند یکدیگر را قطع کنند، میدان‌ها باعث دور شدن سیم‌ها از هم می‌شوند.



شکل ۹-۲۷ نیروی دفعه بین دو سیم حامل‌دار غیر هم جهت

برای مشخص کردن شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم حامل جریان، چگالی میدان مغناطیسی را تعریف می‌کنند. بنا به تعریف، چگالی میدان عبارت است از تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح عبور می‌کند. طبق شکل ۹-۲۶ تعداد خطوط نیرو در واحد سطح یا فاصله‌ی آن تا مرکز سیم، نسبت عکس و با شدت جریان عبوری، نسبت مستقیم دارد. بنابراین، اگر تعداد خطوط نیرو در واحد سطح را با  $B$ ، فاصله‌ی نقطه‌ی موردنظر از سیم را با  $d$  و شدت جریان سیم را با  $I$  نشان دهیم،

با توجه به رابطه‌ی  $B = K \frac{1}{d}$  و شکل ۹-۲۶ چنانچه

فاصله‌ی  $d_1$  دو برابر  $d_2$  شود،  $B_1$  نصف  $B_2$  خواهد بود.

مثال ۱- تراکم خطوط نیرو در نقطه‌ای به فاصله‌ی  $5/1$

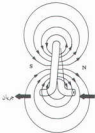
متر از سیم راستی که جریانی به شدت  $9$  آمپر می‌گذرد، چقدر است؟

$$B = K \frac{1}{d}$$

$$B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{9}{5/1} \Rightarrow B = 1/6 \times 10^{-6} \frac{wb}{m}$$

اگر متقابل میدان‌های مغناطیسی بر یکدیگر: اگر دو سیم را که جریان‌هایی در جهت‌های عکس یکدیگر از آن‌ها

هنگامی که دو سیم را که جریان‌های هم‌جهت دارند به یک‌دیگر نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها به هم ملحق می‌شوند. در نتیجه، سیم‌ها به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری تولید می‌کند.



شکل ۲۰-۹: میدان مغناطیسی حاصل در یک حلقه



شکل ۲۰-۸: نیروی جاذبه بین دو سیم جریان‌دار هم‌جهت

چنانچه سه یا چهار سیم را طوری کنار هم قرار دهیم که جهت جریان در همه‌ی آن‌ها یکسان باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر خواهد شد.



شکل ۲۰-۹: قوی‌تر کردن میدان مغناطیسی از طریق افزایش سیم‌ها

چگالی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه بیش‌تر است. هم‌چنین هر قدر شدت جریان عبوری بیش‌تر باشد، تراکم خطوط نیرو قوی‌تر خواهد بود؛ بنابراین، می‌توان رابطه‌ی  $B = K \frac{I}{r}$  را نوشت که در این رابطه  $I$  شدت جریان برحسب آمپر،  $r$  شعاع حلقه برحسب متر و  $K$  ضریب تناسب است که در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) مقدار آن  $2\pi \times 10^{-7}$  است.

مثال ۲- چگالی خطوط نیرو در مرکز حلقه‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر هنگامی که شدت جریان ۵ آمپر از آن عبور کند، چه قدر است؟

$$B = K \frac{I}{r}$$

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \times \frac{5}{0.1} = \frac{2\pi \times 10^{-6}}{2} \text{ تسلا}$$

$$B = 2\pi \times 10^{-6} \text{ Wb/m}^2$$

اثر الکترومغناطیسی بر یک پویین: اگر سیمی در یک جهت به صورت حلقوی پیچیده شود، یک پویین تشکیل می‌دهد. اگر از این پویین جریانی عبور کند، میدان‌های مغناطیسی حلقه‌ها به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و میدان مغناطیسی پویین قوی‌تر می‌شود. هر چه تعداد حلقه‌ها بیش‌تر باشد و حلقه‌ها به صورت فشرده کنار هم پیچیده شوند، میدان‌های مغناطیسی بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و در نتیجه، میدان مغناطیسی پویین قوی‌تر خواهد بود.

اثر الکترومغناطیسی بر یک حلقه: اگر سیمی را به صورت حلقه درآوریم و از آن جریان الکتریکی عبور دهیم، خطوط نیروی مغناطیسی اطراف سیم همه طوری مرتب خواهند شد که از یک طرف به حلقه وارد و از طرف دیگر خارج می‌شوند. در مرکز حلقه، خطوط نیرو متمرکز می‌شوند و یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورند.

در نتیجه‌ی این عمل قطب‌های مغناطیسی به وجود می‌آیند. به طوری که قطب شمال در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو از آن خارج می‌شوند و قطب جنوب در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو به آن وارد می‌شوند.



پیچیده شده باشند، میدان‌های بیش‌تری به یکدیگر اضافه می‌شوند که این عمل باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی می‌شود. به عبارت دیگر، چگالی میدان مغناطیسی با طول بوبین (N) نسبت عکس دارد.

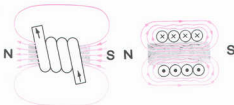


شکل ۹-۳۲ اثر تعداد حلقه‌ها بر چگالی میدان



شکل ۹-۳۳ اثر تعداد گسیم‌ها بر چگالی میدان

۲- چنان‌چه هسته‌ی آهنی را در داخل بوبین قرار دهیم، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. آهن نرم جسم مغناطیسی است که رلاکتانس کمی دارد و باعث می‌شود که خطوط نیرو بیش‌تر در مقایسه با هوا در آن متمرکز شود. هر چه خطوط نیرو در هسته بیش‌تر متمرکز شوند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است.



شکل ۹-۳۴ اثر هسته‌ی آهنی بر چگالی میدان

برای تعیین قطب‌های یک بوبین از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۹-۳۶ چنان‌چه انگشت‌ها پستان را در جهت حلقه‌های بوبین به دور بوبین حلقه کنید انگشت شست در جهت قطب N قرار می‌گیرد.



شکل ۹-۳۶ تعیین قطب یک بوبین

چگالی خطوط نیرو در مرکز بوبین به عوامل زیر بستگی دارد:

- ۱- هر چه تعداد حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشند، میدان مغناطیسی حلقه‌ها با هم جمع می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری خواهیم داشت. بنابراین، تراکم خطوط با تعداد حلقه‌های بوبین (N) نسبت مستقیم دارد.

۲- هر چه شدت جریان عبوری از بوبین بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود؛ بنابراین، چگالی تراکم خطوط نیرو با شدت جریان (I) نسبت مستقیم دارد.

۳- اگر حلقه‌های بوبین به صورت خیلی فشرده کنار هم

در یک الکترومغناطیس از هسته یا آهن نرم استفاده می‌کنند؛ چون در همین صورت، آهن سخت به صورت آهن‌ریزی دائمی درمی‌آید.

با توجه به عوامل یاد شده، چگالی میدان مغناطیسی در هسته‌ی مغناطیسی یک بوبین را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد.

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$$

در رابطه‌ی قوی،  $\mu_r$  ضریب نفوذ هوا برابر  $7\pi \times 10^{-7}$  است.  $\mu_r$  ضریب نفوذ نسبی هسته است و به جنس هسته بستگی دارد. ضریب نفوذ نسبی یک جسم نشان می‌دهد که قابلیت نفوذ مغناطیسی آن چند برابر هواست. در اجسام مغناطیسی  $\mu_r$  معمولاً رقم بزرگی است و مقدار آن از جداول مخصوصی بدست می‌آید.  $NI$  تعداد حلقه‌های بوبین،  $l$  شدت جریان برحسب آمپر و  $l$  طول متوسط<sup>۳</sup> خطوط میدان برحسب متر و  $B$  چگالی خطوط نیروست. مثال ۳- یک بوبین با ۵۰ حلقه سیم به طول متوسط خطوط میدان ۱۰ سانتی‌متر با هسته‌ی هوا مقروض است. اگر شدت جریان ۹ آمپر از این بوبین عبور کند، تراکم خطوط نیرو در داخل آن چقدر است؟

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{NI}{l} = 7\pi \times 10^{-7} \times \frac{50 \times 9}{10 \times 10^{-2}} \\ \Rightarrow B = 7\pi \times 10^{-5} \text{ wb/m}^2$$

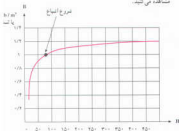
مثال ۴- در مثال ۳ اگر یک هسته‌ی آهنی با ضریب نفوذ نسبی  $\mu_r = 1000$  داخل بوبین قرار دهیم، تراکم خطوط نیرو چقدر خواهد شد؟

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{NI}{l} = 7\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times \frac{50 \times 9}{10 \times 10^{-2}} \\ B = 1/225 \text{ wb/m}^2$$

نیروی محرکه‌ی مغناطیسی<sup>۱</sup> به نیروی مغناطیس‌کننده‌ای که از عبور شدت جریان در یک بوبین به وجود می‌آید، نیروی محرکه‌ی مغناطیسی (mmf) می‌گویند. مقدار این نیرو به شدت جریانی که از بوبین عبور می‌کند و تعداد دورهای بوبین بستگی

دارد؛ بنابراین، اگر تعداد حلقه‌های بوبین را با  $N$  و شدت جریان را با  $I$  نمایش دهیم، نیروی محرکه از رابطه‌ی  $F = NI$  بدست می‌آید که در آن  $F$  نیروی محرکه‌ی مغناطیسی برحسب آمپر دور (A.T)،  $I$  برحسب آمپر و  $N$  تعداد حلقه‌های بوبین است.

**منحنی مشخصه‌ی مواد فرومغناطیسی:** در یک بوبین با هسته‌ی آهنی که طول بوبین ثابت است، افزایش تعداد حلقه‌ها با شدت جریان (یا هر دو) باعث افزایش نیروی محرکه‌ی مغناطیسی و نهایتاً افزایش تراکم خطوط نیرو خواهد شد. این امر تا جایی ادامه خواهد یافت که همدی مولکول‌های مغناطیسی هسته منظم شوند و پس از آن، هر چه شدت جریان زیاد شود، تراکم خطوط نیرو ثابت خواهد ماند. نقطه‌ی آغاز این حالت را نقطه‌ی اشباع مغناطیسی می‌نامند؛ زیرا مولکول مغناطیسی دیگری باقی نمانده، است که منظم شود. تغییرات تراکم خطوط نیرو برحسب شدت میدان مغناطیسی، منحنی مشخصه‌ی هسته‌ی بوبین نامیده می‌شود. در شکل ۹-۳۵ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی را مشاهده می‌کنید.



شدت میدان مغناطیسی (آمپر - دور بر متر)

شکل ۳۵-۳۵ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی

تقریب ۵- از بوبین یک آهن‌ریزی الکتریکی که دارای ۸۰ حلقه است، جریانی به شدت ۲/۵ آمپر عبور می‌کند. نیروی محرکه‌ی مغناطیسی بوبین را حساب کنید.

<sup>۳</sup> روش محاسبه‌ی طول خطوط میدان در درس ماشین‌های الکتریکی (۱) خواهد آمد.

$$F = N \cdot I \cdot A \times 2 / \delta$$

$$F = 2 \cdot 0 \cdot A \cdot T$$

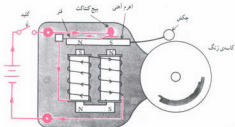
می پردازیم:

### ۱-۹-۱۵: ژانگ الکترو مغناطیسی DC: در ژانگ

الکترومغناطیسی از عمل میدان مغناطیسی برای به توان در آوردن یک آهنربا استفاده می کنند. این آهنربا به چکشی متصل است که بی دربی به کاسه ی ژانگ می خورد. هنگامی که کلید بسته می شود، باطری جریان الکتریکی را از طریق اتصال بیچی به یک فنر می فرستد ولی قبل از این که جریان به قطب منفی باتری باز گردد، از میان یک سیم و بوبین های الکترومغناطیسی می گذرد. الکترومغناطیسی ها پس از دریافت انرژی از آهنربا را به پایین جذب می کنند و باعث می شوند. و بخورد چکش با کاسه ی ژانگ می شوند.

### ۱۶-۹: کاربرد مغناطیسی

مصرف کننده های الکتریکی از قبیل لامپ روشنایی و بخاری و فنر توسط عبور جریان الکتریکی فعال می شوند و کار مفید انجام می دهند اما مصرف کننده های دیگری وجود دارند که عبور جریان از آنها باعث خاصیت مغناطیسی می شود و نیروی حاصل از مغناطیسی تولید کار می کند. در این جا به شرح چند وسیله ی الکتریکی که با خاصیت مغناطیسی کار می کنند،



شکل ۹-۳۶- ژانگ الکترو مغناطیسی DC

### ۲- کلید مغناطیسی قطع مدار: کلید قطع مدار برای این

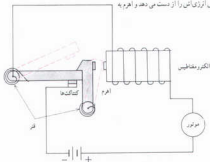
منظور در مدارها به کار می رود تا مانند فیوز از مدار در مقابل اتصال کوتاه یا اضافه بار محافظت کند. با این تفاوت که فیوز می سوزد اما کلید قطع مدار جریان را قطع می کند که البته می توان آن را دوباره وصل کرد. طبق شکل ۹-۳۷ مسیر جریان از باتری شروع می شود و از کشاکش هایی که توسط یک آهنربا بسته شده اند می گذرد. پس از آن، جریان از طریق یک الکترومغناطیسی به موتور می رود و دوباره به باتری باز می گردد. تا هنگامی که جریان خیلی زیادی عبور نکند، میدان ایجاد شده توسط الکترومغناطیسی آن قدر قوی نیست که بتواند آهنربا را جذب کند ولی اگر جریان

هنگامی که آهنربا به طرف پایین تیران می کند، فنر از اتصال بیچی جدا می شود. این فصل مدار را باز می کنند. در نتیجه، جریان از حرکت باز می ایستد. الکترومغناطیسی ها انرژی خود را از دست می دهند و دیگر آهنربا را جذب نمی کنند. فنر آهنربا را دوباره به محل قبلی اش برمی گرداند و به همین دلیل، اتصال قری و بیج دوباره باعث بسته شدن مدار می شوند. در نتیجه، این عمل تکرار می گردد.

الکترومغناطیسی ها انرژی دریافت می کنند و آن را به سرعت از دست می دهند و باعث تیران آهنربا به بالا و پایین می شوند. چکشی نیز تیران می کند و به طور مداوم به کاسه ی ژانگ می خورد.

خطی زیادی، عبور کند. مثلاً هنگامی که موتور ترمز می‌کند یا اتصال کوتاه می‌شود. میدان الکترومغناطیسی خیلی قوی می‌شود و اهم را به طرف خود می‌کشد. این عمل به قدر امکان می‌دهد که بازاری اتصال را قطع و کنتاکت‌ها را باز کند. در نتیجه، مدار قطع می‌شود، الکترومغناطیس انرژی‌اش را از دست می‌دهد و اهم به

حالت اول برمی‌گردد. در این حالت، بازاری اتصال توسط فنر خارج نگاه‌داشته شده است. هنگامی که مشکل برطرف شود، قطع کننده مدار را می‌توان به حالت اول درآورد و از آن استفاده کرد.

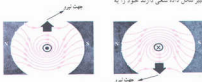


شکل ۳۶- کلید مغناطیسی قطع مدار

به الکترومغناطیسی که اهم را به کار می‌اندازد تا کنتاکت‌ها را قطع و وصل کند، رله می‌گویند.

۳- موتور الکتریکی ساده: اگر یک سیم حامل جریان را در داخل یک میدان مغناطیسی قرار دهیم، میدان مغناطیسی اثری مخالف بر سیم حامل جریان وارد می‌کند. سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این میدان شکل خطوط نیرویی را که بین دو قطب مغناطیسی وجود دارد، تغییر می‌دهد. خطوط نیرویی تغییر شکل داده سعی دارند خود را به

وضعیت قبل از ورود سیم حامل جریان درآورند. در نتیجه، نیروی دافعه‌ای بر سیم وارد می‌گردد. بدین ترتیب، سیم به محلی رانده می‌شود که خطوط نیرو از بلندی جابجا ضعیف‌ترند. جهت نیروی دافعه به جهت جریان و جهت خطوط نیرو بستگی دارد. در صورتی که هر کدام از کمیت‌ها تغییر جهت پیدا کنند، جهت نیروی دافعه نیز تغییر خواهد کرد اما اگر جهت هر دو کمیت با هم عوض نشود، جهت نیرو تغییر نخواهد کرد.



شکل ۳۸- اثر میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان

جهت نیروی دافعه را به سهولت می‌توان از قانون دست چپ پیدا کرد.

### قانون دست چپ

اگر دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند (B) و جهت جریان در سیم حامل جریان (I) در جهت سایر انگشتان باشد، جهت نیروی وارد شده (F) در جهت انگشت تست خواهد بود.

اگر طبق شکل ۹-۱۰ سیم را به صورت کلاف درآوریم و آن را درون میدان مغناطیسی قرار دهیم، وقتی از کلاف جریان عبور کند از متقابل میدان‌های مغناطیسی باعث می‌شود که یک سمت آن به طرف بالا و سمت دیگر به طرف پایین حرکت کند؛ به عبارت دیگر، به کلاف جفت نیرو وارد می‌شود و تولید گشتاور می‌کند. این فرایند اساس کار موتورهای الکتریکی است که در درس ماشین‌های الکتریکی به‌طور مفصل درباره‌ی آن توضیح خواهیم داد.

۹-۱۱ زیراتور ساده: طبق شکل ۹-۱۱ اگر یک هادی را در داخل میدان مغناطیسی آهن‌ریا حرکت دهیم، انرژی مغناطیسی آهن‌ریا باعث حرکت الکتریکی‌ها در یک جهت و تجمع آن‌ها در یک طرف هادی می‌شود. این روند را تولید نیروی محرکه‌ی القایی می‌گویند. حال اگر به دو سر سیم میلی‌ولت‌متری را وصل کنیم، مشاهده می‌شود که با حرکت سیم به طرف پایین، غریبه‌ی میلی‌ولت‌متر در یک جهت و با حرکت سیم به طرف بالا غریبه در جهت مخالف حرکت می‌کند. نتیجه می‌گیریم که با تغییر جهت حرکت سیم، جهت نیروی محرکه‌ی القایی تغییر می‌کند. این مطلب در مورد تغییر جهت خطوط نیرو نیز صادق است.

برای بدست آوردن جهت نیروی محرکه‌ی القایی از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۹-۱۲ اگر کف دست راست را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند، در صورتی که جهت حرکت سیم در جهت انگشت تست باشد، جهت نیروی محرکه‌ی القایی در جهت سایر انگشتان خواهد بود.



شکل ۹-۱۱- اساس کار یک ژنراتور ساده



شکل ۹-۱۲- قانون دست راست

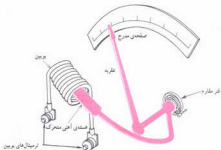
۵- دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی: در دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار ساده، برای اندازه‌گیری جریان عبوری از یک

شکل ۹-۱۰- تولید گشتاور در موتور الکتریکی



شکل ۹-۱۳- قانون دست چپ

سرمایه و یک هسته‌ی متحرک استفاده می‌کنند. هرگاه جریانی از سیم بگذرد، میدان مغناطیسی‌ای ایجاد می‌کند که هسته را به طرف خود جذب می‌کند. انتهای دیگر هسته به تیر متصل است که سیم دارد آن را به عقب بکشد. سیمانی را که هسته طی می‌کند، به سمت میدان مغناطیسی بستگی دارد.



**ملک:** پاکستان

### خلاصه و مطالب

• اثر متقابل الکتریکسیته و مغناطیس برای تشکیل میدان الکتریک و مغناطیسی جدیدی نظیر دی الکتریک و مغناطیس تعریف می شود.

• **اندام های جسمی از لحاظ آناتومی، ترکیب می شوند که الکترون های والانسشان را به مدارات می گذارند و**  
**اندودوم می خفایند یا مولکول های مفصلی تشکیل می دهند.** • **جسمی که مولکول ها یا ذرات مفصلی آن**  
**در یک جهت مرتب شده باشند. جسم مفصلی شده** نامیده می شود. • یک جسم مفصلی می تواند با وارد  
 کردن نیروی مفصلی از طریق حالتی از جریان الکتریکی مفصلی کرد. • خاصیت مفصلی یک جسم مفصلی

زمن، بعد از آن مختلطی تولید می‌گردد. مختلطی از قطب‌های فعال  $N$  و قطب  $S$  است.

قطب 8 می‌تواند از آلودگی حرارتی به‌دلیل قطب شمالی، از طرف قرار می‌گیرد. قطب دیگر

قلب که است، از قلب‌های بر ای تعیین طریقین استفاده می‌کنند. - قوانین جذب و دفع بر ای مطابق این هایدین گونه است که قلب‌های همدام یک دیگر را دفع و قلب‌های اسر همدام یک دیگر را جذب می‌کنند.